



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Abschlussbericht

Ermittlung der Quellen von Gerüchen und hohen Schadstoffkonzentrationen im Erzgebirge über die Modellierung der Luftmassenbahnen

MICHAEL JÄHN, RALF WOLKE,
BEATE SÄNDIG, EBERHARD RENNER

29. März 2012

Kurzfassung

Die Problematik von Geruchsbelastungen ist ein seit Jahrzehnten bekanntes Problem in den grenznahen Gebieten des Erzgebirges und Vogtlandes. Als Verursacher gelten die in großer Anzahl vorhandenen Industrieanlagen in Nordböhmen. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten treten im Zusammenhang mit Hochdruck- und Inversionswetterlagen Belastungen auf. Dem eher rückläufigen Trend an Beschwerden, welcher auf die Modernisierung und teilweiser Stilllegung von Anlagen zurückzuführen ist, steht eine deutlich erhöhte Anzahl an Beschwerden für das Jahr 2011 gegenüber, als im Herbst aufgrund einer langanhaltenden Hochdrucklage ungewöhnlich viele Geruchsmeldungen der Bevölkerung registriert wurden. Dennoch werden die Grenzwerte für Luftschadstoffe in den seltensten Fällen überschritten.

Mithilfe des Trajektorienmodells TRAJEK, welches Reanalysedaten des Lokalmodells COSMO (Consortium for Small-Scale Modelling) vom Deutschen Wetterdienst (DWD) nutzt, können die Zugbahnen der Luftmassen simuliert werden. Dabei werden Rückwärtstrajektorien der belasteten Orte sowie Vorwärtstrajektorien der vermuteten Quellen berechnet. Darüber hinaus wird mit dem Modellsystem COSMO-MUSCAT (Multi-Scale Atmospheric Transport Model) die Ausbreitung von Tracern simuliert, wobei die vorhandenen Strömungsstrukturen sowie die Abluftfahnen der Emittenten sichtbar gemacht werden können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Methoden und numerische Modelle	3
2.1	Zielstellung und Vorgehensweise	3
2.2	Das Modellsystem COSMO-MUSCAT	5
2.3	Das Trajektorienmodell TRAJEK	7
2.4	Visualisierung über GRASS GIS	8
3	Trajektorienrechnungen	9
3.1	Kategorisierung der Trajektorienbahnen nach Falltypen	10
3.2	Analyse ausgewählter Falltypen und Sensitivität des Trajektorienmodells	12
3.3	Untersuchung gemeldeter Havariefälle	17
3.3.1	Havarie im Druckgaswerk Vřesová vom 10. November 2010	17
3.3.2	Havarie einer Claus-Anlage in Litvínov vom 18. Mai 2011 .	20
3.3.3	Wartungsarbeiten in Litvínov vom 1.-3. September 2011 .	23
3.4	Darstellung typischer Strömungsmuster anhand flächendeckend verteilter Quellen	25
4	Tracerrechnungen	29
4.1	Vergleich mit Messungen	31
4.1.1	Meteorologie	31

Inhaltsverzeichnis	vi
4.1.2 SO ₂ -Konzentrationen	31
4.2 Augewählte Beschwerdefälle	32
4.3 Havariefälle	46
5 Diskussion und Ausblick	53
A Übersichtstabelle der Beschwerdefälle	55
Literaturverzeichnis	67

Abbildungsverzeichnis

2.1	Simulationsgebiet G1 mit Orographie	4
2.2	Simulationsgebiet G2 mit Orographie	5
3.1	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Zinnwald am 5. Januar 2010 zwischen 6 und 12 Uhr	13
3.2	Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Zinnwald am 5. Januar 2010 zwischen 6 und 12 Uhr	14
3.3	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Bad Brambach am 23. Dezember 2010 zwischen 12 und 18 Uhr	14
3.4	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Oberwiesenthal am 22. März 2010 zwischen 20 und 23 Uhr	15
3.5	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Rotava, Chomotov, Kadaň, Litvínov und Most am 22. März 2010 zwischen 14 und 20 Uhr . . .	15
3.6	Vorwärtstrajektorien (200 m Höhe) für Rotava, Chomotov, Kadaň, Litvínov und Most am 22. März 2010 zwischen 14 und 20 Uhr . . .	16
3.7	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Neuwernsdorf, Olbernhau, Marienberg, Annaberg, Jöhstadt, Seiffen, Crottendorf und Aue am 10. November 2010 zwischen 12 und 24 Uhr	18
3.8	Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Neuwernsdorf, Olbernhau, Marienberg, Annaberg, Jöhstadt, Seiffen, Crottendorf und Aue am 10. November 2010 zwischen 12 und 24 Uhr	18

3.9	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Vřesová und Umgebung am 10. November 2010 um 11 Uhr	19
3.10	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seiffen am 18./19. Mai 2011 zwischen 20 und 12 Uhr	20
3.11	Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Seiffen am 18./19. Mai 2011 zwischen 20 und 12 Uhr	21
3.12	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Litvínov und Umgebung am 18. Mai 2011 um 23 Uhr	22
3.13	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seiffen am 1. September 2011 zwischen 2 und 5 Uhr	23
3.14	Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Seiffen am 1. September 2011 zwischen 2 und 5 Uhr	24
3.15	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Litvínov und Umgebung am 1. September um 0 Uhr	24
3.16	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Zwota, Klingenthal und Plauen am 2./3. Oktober 2010 zwischen 22 und 2 Uhr	26
3.17	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 2. Oktober 2010 um 12 Uhr	27
3.18	Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seiffen am 17. Januar 2011 zwischen 6 und 12 Uhr	27
3.19	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 17. Januar um 22 Uhr	28
3.20	Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 18. Januar um 5 Uhr	28
4.1	Vergleich der G1- und G2-Simulationen mit Messungen in Schwarzenberg und Rudolice für den 22./23. März 2010: Temperatur (oben), Windrichtung (Mitte) und Windgeschwindigkeit (unten).	34

4.2	Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 13.-15. Oktober 2010: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).	35
4.3	Vergleich der G1- und G2-Simulationen mit Temperatur-Messungen in Schwartenberg und Rudolice (oben) sowie Decin und Klingenthal (unten) für den 9./10. Oktober 2010.	36
4.4	Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 9./10. Oktober 2010: Windrichtung (oben) und Windgeschwindigkeit (unten).	37
4.5	Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 18./19.05.2011: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).	38
4.6	Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 1./2. September 2011: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).	39
4.7	Vergleich der SO ₂ -Simulation mit Messungen in Schwartenberg sowie Rudolice: 22./23. März 2010 (oben) und 13.-15. Oktober 2010 (unten).	40
4.8	SO ₂ -Konzentration am Boden und in 300 m Höhe am 13. Oktober 2010 um 3:00 Uhr.	41
4.9	Modellierte Mischungsschichthöhen für die G2-Simulation an unterschiedlichen Orten im Erzgebirge und in Nordböhmen für die Periode vom 13.-15. Oktober 2010.	41
4.10	Vergleich der SO ₂ -Konzentrationen in Rudolice und Schwartenberg für die Fälle 18, 55 und 72.	42
4.11	Source-Rezeptor-Analyse für Oberwiesenthal am 22. März 2010.	43
4.12	Vergleich der Modellergebnisse für G1- und G2-Simulationen am 22. März 2010.	44

4.13	Sensitivität bezüglich der Emissionshöhe auf G2 für den 22. März 2010, 19:30 Uhr.	44
4.14	Modellierte Mischungsschichthöhe auf G2 für den 22. März (15.30 Uhr) und den 23. März 2010 (10:00 Uhr).	45
4.15	Sensitivität bezüglich der Emissionshöhe auf G2 für den 13. Oktober 2010 (3:00 Uhr): Bodenschicht (links), 200 m Höhe(rechts) . .	45
4.16	Source-Rezeptor-Analyse für die Havarie in Vresova am 11. Oktober 2010	47
4.17	Ausbreitung der Tracer für verschiedene Emissionshöhen am 10. November 2010, 17:30 Uhr	48
4.18	Zeitlicher Verlauf der Tracerausbreitung in der Bodenschicht am 10. November 2010	48
4.19	Vergleich der G1- und G2-Simulationen sowie Source-Rezeptor-Analyse in Seiffen für die Zeit vom 17.-20. Mai 2011.	49
4.20	Source-Receptor-Analyse für Schwartenberg und Seiffen am 1./2. September 2011 (oben). Mischungsschichthöhen (unten).	50
4.21	Ausbreitung der am Boden emittierten Tracer am 1. November 2011 um 0.30 Uhr und 3:00 Uhr.	51
4.22	Ausbreitung der in 200 m Höhe emittierten Tracer am 1. November 2011 um 0:30 Uhr und 3:00 Uhr.	51

Tabellenverzeichnis

A.1	Übersicht der gemeldeten Beschwerdefälle für 2010 und 2011 im Erzgebirgs- und Vogtlandkreis inklusive statistischer Auswertung. Die mit einem Stern gekennzeichneten Daten stellen Havariefälle dar. Städttekürzel („Ort“) siehe Abkürzungsverzeichnis. „Anz.“: Anzahl der Trajektorien; „V_hit“: Anzahl der „Treffer“ für die Region Vřesová; „V_min“: minimaler Abstand zu Vřesová in km; „K_hit“ und „K_min“: wie 8. und 9. Spalte, für Kadaň; „L_hit“ und „L_min“: wie 8. und 9. Spalte, für Litvínov; „Wind“: mittlere Windgeschwindigkeit entlang der Trajektorien in m s^{-1}	56
-----	---	----

1 Einleitung

Im Erzgebirgsraum und Teilen des Vogtlandkreises werden jährlich Geruchsbeschwerden der Bevölkerung registriert. Besonders häufig treten diese Ereignisse bei schwachgradientigen (Hochdruck-)Wetterlagen mit südöstlicher Anströmung auf. Mögliche Quellen stellen die tschechischen Industrieanlagen entlang des Nordböhmisches Beckens dar. Bedingt durch die oftmals windschwachen Wetterlagen und die orographischen Besonderheiten des Erzgebirges vergehen zwischen der Emission in Nordböhmen bis zur Immission in Südsachsen mehrere Stunden, teilweise sogar Tage. Jedoch wird der vom Menschen wahrgenommene Gestank nicht zwangsläufig auch nahe der Emissionsquelle registriert, da er sich in vielen Fällen erst während des Luftmassentransports durch chemische Umwandlungs- und Mischungsprozesse bilden kann. Daher sind die Geruchsprobleme als Immission messtechnisch sehr schwierig nachzuweisen. Zumal werden in den meisten Fällen die Grenzwerte für Luftschadstoffe nicht überschritten und auch die Anzahl der gemeldeten Geruchsbeschwerden lag weit unter der nach Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL, 2008) zulässigen Häufigkeit.

Dennoch stellen diese Gerüche seit vielen Jahren und Jahrzehnten ein Problem für die Bewohner des Erzgebirges dar. Etwa 150 Betriebe (Kraftwerke, Chemiefabriken, Raffinerien etc.) können potentielle Verursacher für die Geruchsbelastung sein. Trotz der andauernden Modernisierung dieser Anlagen kann es jederzeit zu außergewöhnlichen Betriebsereignissen (Havarien) kommen. Diese werden vom tschechischen Umweltzentrum Most registriert, so dass geklärt werden kann, welche Stoffe zu welcher Zeit emittiert wurden. Mit diesen zusätzlichen Informatio-

nen kann auch eine differenziertere Modellierung durchgeführt werden.

Durch die hohe Anzahl der Industrieanlagen auf tschechischer Seite und der besonderen geographischen Lage des Erzgebirges können sich bei entsprechenden Wetterlagen sehr stabile Schadstoffwolken bilden. Daher können in einigen Fällen auch mehrere Verursacher infrage kommen. Dieser Effekt soll ebenfalls durch die Berechnung der Luftmassenbahnen untersucht werden.

In Kapitel 2 dieses Berichts werden die Methoden und Vorgehensweisen erläutert, die numerischen Modelle und die betrachteten Simulationsgebiete vorgestellt. Die Trajektorienrechnungen inklusive Kategorisierung und die Analyse ausgewählter Fälle bilden im 3. Kapitel den Fokus. Einige dieser Fälle werden im 4. Kapitel mithilfe von Tracerrechnungen weiter untersucht. Der Bericht schließt mit einer kurzen Diskussion und dem Ausblick ab.

2 Methoden und numerische Modelle

2.1 Zielstellung und Vorgehensweise

Die Güte der modellierten Ergebnisse hängt wesentlich von den Eingangsdaten ab. Bei dem zu Grunde liegenden Modell handelt es sich um das dreidimensionale, nicht-hydrostatische Lokalmmodell COSMO (Consortium for Small-Scale Modeling, [Steppeler et al. 2003], [Schättler et al. 2008]) vom Deutschen Wetterdienst (DWD), welches Reanalysedaten mit einer stündlichen zeitlichen Auflösung zur Verfügung stellt. Die horizontale Gitterweite dieser Daten beträgt $2,8 \times 2,8 \text{ km}^2$. Die vertikale Gitterauflösung des Modells beruht auf einer Einteilung der Atmosphäre in 50 orographiefolgenden Schichten.

Die Modellierung zur Bestimmung der Emissionsquellen erfolgt mehrstufig. Zuerst werden mittels des Trajektorienmodells TRAJEK Rückwärtstrajektorien, ausgehend von den Orten, in denen Beschwerden vorliegen, berechnet. Die dadurch erhaltenen Zugbahnen der Luftmassen geben Aufschluss darüber, aus welchem Gebiet die geruchsbelastete Luft transportiert wurde. Da die gemeldeten Geruchsbeschwerden sich oftmals nicht nur auf einen Zeitpunkt, sondern einen längeren Zeitraum beziehen (mit konkreten Angaben zum Beginn bis Ende oder Benennung eines Tagesabschnitts), werden für jeden Fall zur vollen Stunde ankommende Trajektorien berechnet, welche ein Trajektorienbündel ergeben. Für

eine genauere Analyse können im Anschluss Vorwärtstrajektorien für die vermuteten Quellen berechnet werden. Zur Erhöhung der Aussagekraft ist es möglich, neben der bereits erwähnten zeitlichen Variation auch räumlich benachbarte Trajektorienstartpunkte vorzugeben. Die numerische Berechnung der Trajektorien erfolgte auf dem G1-Gebiet (Abbildung 2.1) mit der gleichen Gitterweite wie im COSMO-Modell.

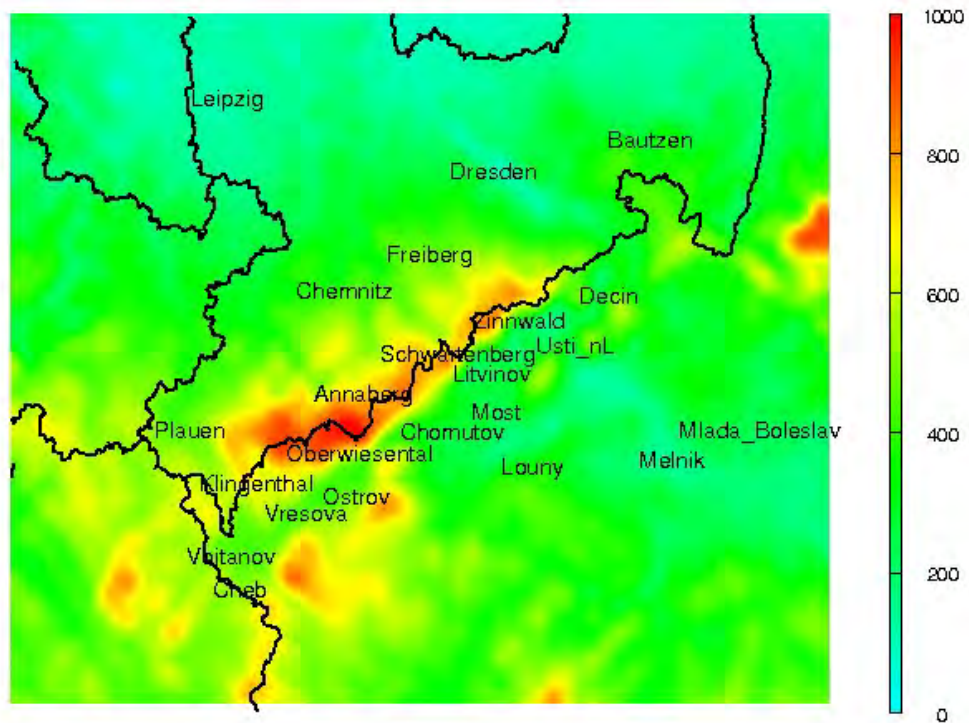


Abbildung 2.1: Simulationsgebiet G1 mit Orographie

Des Weiteren bietet das Modellsystem COSMO-MUSCAT die Möglichkeit, die Ausbreitung von Tracern im entsprechenden Modellgebiet zu berechnen. Dabei können sowohl die vorhandenen Strömungsstrukturen als auch die Abluftfahnen der Emittenten sichtbar gemacht werden. Diese Rechnungen wurden sowohl auf

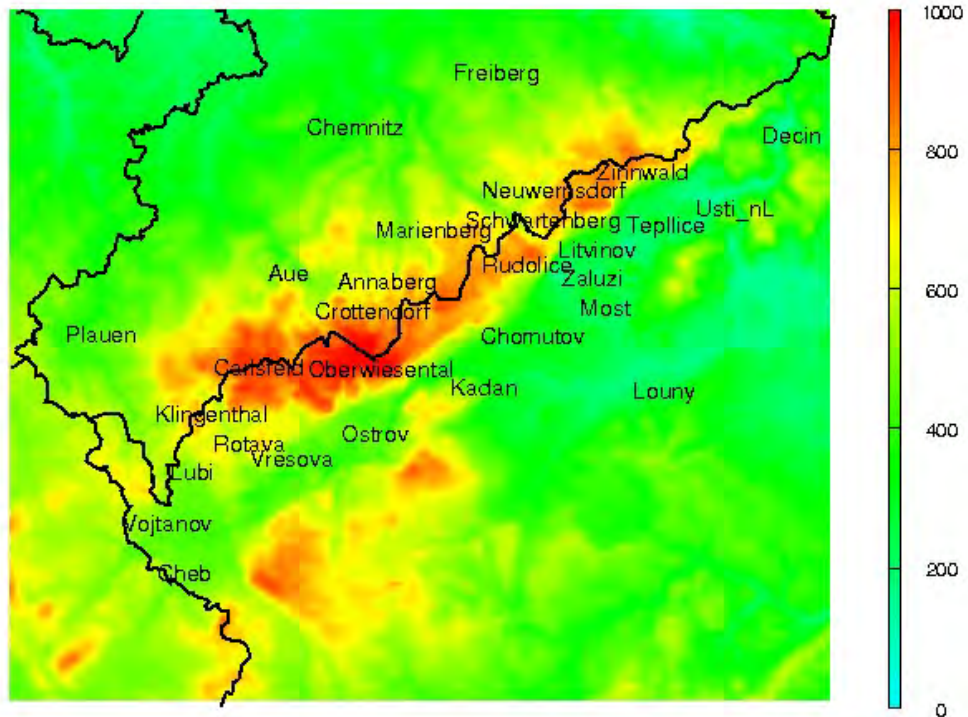


Abbildung 2.2: Simulationsgebiet G2 mit Orographie

G1 als auch auf dem G2-Gebiet durchgeführt (Abbildung 2.2), welches innerhalb von G1 liegt und eine horizontale Auflösung von 1,1 km aufweist. Damit können die orographischen Strukturen des Erzgebirges besser aufgelöst und die Ausbreitung der Schadstoffquellen genauer lokalisiert werden.

2.2 Das Modellsystem COSMO-MUSCAT

Die Berechnung des Transports und der chemischen Umwandlungen für definierte Spurenstoffe in der Atmosphäre erfolgt im Chemie-Transport-Modell MUSCAT (Multi-Scale Atmospheric Transport Model, [Knoth und Wolke 1998], [Renner

und Wolke 2010]). Zu den modellierten dreidimensionalen Transportprozessen zählen Advektion und turbulente Diffusion ebenso wie Sedimentation sowie trockene und nasse Deposition. Die dafür erforderlichen transportierenden Flüsse, Diffusionskoeffizienten und anderen Parameter bezieht das Modell aus dem meteorologischen Treibermodell COSMO, mit dem es online gekoppelt ist. Bezüglich der physikalisch-chemischen Reaktions- und Emissionsmechanismen ist MUSCAT prinzipiell uneingeschränkt, und auch in der Zahl der zu betrachtenden gas- oder partikelförmigen Spurenstoffe setzt das Modell keine Grenzen. Zum standardmäßigen und auch hier genutzten Bestandteil des Modells gehören je ein Chemie- und Aerosolmodul zur Beschreibung der luftchemischen bzw. aerosoldynamischen Prozesse sowie ein komplexes Emissionsmodul.

Das verwendete Gasphasenchemie-Modul RACM [Stockwell et al. 1997] betrachtet 76 reaktive Spurengase in insgesamt 239 Reaktionen. Zu den anorganischen Spezies gehören u. a. NO_x , O_3 , SO_2 und NH_3 ; die organische Gasphase wird durch eine Vielzahl umweltrelevanter Kohlenwasserstoffe charakterisiert. Der Mechanismus schließt 22 photolytische Reaktionen in Abhängigkeit von Sonnenstand und Bewölkung ein, wobei die aus dem Meteorologie-Modell übernommene Bewölkungssituation in Abschattungsverhältnisse umgewandelt wird. Auch andere meteorologische Größen wie beispielsweise Dichte, Temperatur und Feuchte, die Einfluss auf Reaktionsmechanismen haben, werden vom Modell COSMO geliefert. Das Aerosolmodell ist ein massebasierter Mechanismus, der vor allem die Kondensation von sekundärem anorganischen Material auf vorhandenen Aerosolpartikeln beschreibt. Die physikalisch-chemische Bildung und Veränderung der Partikel wird in direkter Wechselwirkung mit der gesamten Gasphasenchemie modelliert. Aufgrund der Online-Kopplung mit dem Meteorologie-Modell COSMO laufen die Transport- und Reaktionsvorgänge unter aktuell berechneten Mischungs- und Ausbreitungsbedingungen der Atmosphäre ab.

Das Emissionsmodul von MUSCAT berücksichtigt die anthropogenen Emissionen in Form von Punkt- und Flächenquellen. Die notwendige zeitliche Diffe-

renzierung von Jahres-Emissionswerten erfolgt mittels der aktuellen emittenten-spezifischen saisonalen und diurnalen Verteilungsfunktionen, so dass die jahres-, wochentags- und tageszeitlichen Schwankungen beschrieben werden können (siehe: [CORINAIR], [Fath 2002]). Punktquellen werden zusätzlich mit entsprechenden Überhöhungswerten ihrer Emissions-Austrittshöhe versehen. Die biogenen Emissionen werden in Abhängigkeit von Bewuchs, Temperatur und Tageszeit im Modell generiert.

Das Modellsystem COSMO-MUSCAT nahm an verschiedenen Modellvergleichen und Studien erfolgreich teil, bei denen die Simulation der Partikelausbreitung den Fokus bildete (siehe: [Stern et al. 2008], [Hinneburg et al. 2009]).

2.3 Das Trajektorienmodell TRAJEK

Mithilfe eines Trajektorienmodells lässt sich die dreidimensionale Zugbahn des Schwerpunkts eines Luftpakets berechnen. Als Ausgangsdaten für das Trajektorienmodell TRAJEK werden die horizontalen und die vertikale Komponente des Windgeschwindigkeitsvektors sowie der Bodendruck benötigt. In TRAJEK wird das Zeitintegral der Windgeschwindigkeit mittels eines Euler-Cauchy-Verfahrens 2. Ordnung gelöst. Die notwendige Interpolation der Datenfelder für den Trajektorienpfad wird durch ein Lagrangesches Interpolationsverfahren 3. räumlicher und 1. zeitlicher Ordnung realisiert.

Als Vertikalkoordinate können wahlweise der Luftdruck in hPa oder die Höhe über Grund in m ausgegeben werden. Die minimale Startpunkthöhe einer Trajektorie beträgt 50 m über der Bodenorographie bzw. 6 hPa unter dem Bodendruck. Die Umrechnung zwischen der geopotentiellen und der Druckhöhe (und vice versa) erfolgt stets über die Internationale Höhenformel, welcher eine Atmosphäre in mittlerem Zustand, die US-Standardatmosphäre, zugrunde liegt. Der Integrationszeitschritt für die Trajektorien beträgt 1 min. Die Ausgabe erfolgt tabellarisch, wobei die Aufenthaltsorte der Punkte auf der Trajektorienkurve alle 5 min erfasst

werden. Diese werden in horizontaler Richtung in Längen- und Breitengraden sowie vertikal in der gewählten Höhenkoordinate angegeben.

2.4 Visualisierung über GRASS GIS

Die Visualisierung der Daten erfolgte über die Geoinformationssystem-Software GRASS GIS [GRASS 2008] (Geographic Resources Analysis Support System, Geographical Information System). Die automatisierte Konvertierung der ASCII-Daten (welche von TRAJEK als Output erzeugt wurden) in GRASS-Vektor-Daten wurde mithilfe von bash-Skripten realisiert. Anschließend wurden GRASS-Skripte zur automatisierten Darstellung dieser Vektordaten mit Höhenabhängigkeit und Farblegende im GRASS-GIS-System erstellt, mit deren Hilfe Bilder im JPEG-Format exportiert und im Archiv gespeichert wurden.

3 Trajektorienrechnungen

Im Jahr 2010 sind im Erzgebirgs- und Vogtlandkreis 60 Beschwerdemeldungen eingegangen. Diese Anzahl der Meldungen teilt sich auf 26 Tage (Ereignisse) des Jahres auf. Davon betraf mehr als die Hälfte der Meldungen den 10. November 2010. Für 2011 wurde jedoch ein ansteigender Trend beobachtet. So kam es bereits bis zum 29. September 2011 an 54 Tagen zu Geruchsbeschwerden durch die Bevölkerung. Als Art der Belastung wurde vorwiegend „Katzendreck“¹, darüber hinaus auch Schwefelgeruch oder allgemein Gerüche aus der Chemieindustrie benannt. Neben den Gerüchen wurden in einigen Fällen auch Rauchgase optisch wahrgenommen.

Alle gemeldeten Fälle werden in eine entsprechende Kategorie eingeordnet, welche durch die Anströmungsrichtung charakterisiert ist. Zudem wurden für jeden einzelnen Fall Rückwärtstrajektorien für den entsprechenden Zeitraum in den Höhen 50 m und 100 m gerechnet. Für genauere Analysen sowie Sensitivitätsstudien können weitere Höhenschichten, Vorwärtstrajektorien für die vermuteten Quellen sowie zeitlich und räumlich benachbarte Trajektorien berechnet werden. Überlagern sich oder liegen die Trajektorien des entstehenden „Trajektorienbündels“ eng beieinander, wird die Aussagekraft des Ergebnisses erhöht. Bekannte Havarieereignisse werden anhand dieser Vorgehensweise untersucht. Nicht in jedem Fall ist es jedoch möglich, eine konkrete Emissionsquelle benennen zu können, da sich die Abgase von verschiedenen Industrieanlagen mischen, umwan-

¹Als „Katzendreck“ wird ein äußerst unangenehmer Geruch bezeichnet, der vermutlich durch Schwefelverbindungen im Rohöl verursacht wird [SMUL].

deln und im Nordböhmisches Becken eine Weile verbleiben können, bevor sie dann bei entsprechender Wetterlage über den Erzgebirgskamm getragen werden. Daher wird versucht, mittels Vorwärtstrajektorien von flächendeckend verteilten Quellen typische Strömungsmuster in diesem Zusammenhang darzustellen.

3.1 Kategorisierung der Trajektorienbahnen nach Falltypen

Das Auftreten der Geruchsereignisse lässt sich oftmals auf eine annähernd gleiche Wettersituation bzw. Witterung zurückführen. Besonders bei schwachen Winden, Hochdruck- und Inversionswetterlagen sowie einer Anströmung mit südlicher Komponente treten gehäuft Geruchsbelastungen auf. Bei stärkeren Winden kann sich die belastete Luft nicht ansammeln, sondern durchmischt sich schnell mit der „sauberen“ Luft. So gab es beispielsweise keine einzige Geruchsmeldung bei einer für Mitteleuropa typischen Anströmrichtung aus Nordwesten.

Zur grundlegenden Kategorisierung der Fälle wird die für das Ereignis vorherrschende Windrichtung herangezogen. So lässt sich unterscheiden, ob der Wind beispielsweise aus Südost (SO), Südwest (SW) oder aus unterschiedlichen Richtungen (DIFF) wehte. Die Einordnung der Fälle in diese Kategorien ist in Tabelle A.1 im Anhang dargestellt.

Besonders auffällig für das Jahr 2010 ist der Fall 19, bei dem die mit Abstand meisten Beschwerdemeldungen für einen Tag (über 30) eingegangen sind. Neben den gekennzeichneten Orten wurden für diesen Fall auch in Pockau, Halsbrücke, Lauterbach, Arnsfeld, Sayda, Grumbach, Bärenstein, Hammerunterwiesenthal, Sehmatal, Königswalde, Schneeberg und Kühnhaide Geruchsmeldungen registriert.

Im Jahr 2011 ist ein drastischer Anstieg der Geruchsbeschwerden zu verzeichnen. Insgesamt wurden über 360 Beschwerdemeldungen an 87 Tagen des Jahres

113.1. KATEGORISIERUNG DER TRAJEKTORIENBAHNEN NACH FALLTYPEN

registriert (Stand: 9. November 2011). Dies ist auf die lang anhaltende Hochdrucklage im Oktober und November 2011 zurückzuführen. Dadurch wurden Atlantische Tiefs nach Norden oder Süden abgelenkt und hatten somit keinen Einfluss auf das Wettergeschehen für Sachsen und Tschechien. Allein zwischen dem 14. Oktober und 9. November 2011 gab es über 300 Beschwerdeführer. Folglich ist es nicht verwunderlich, dass das auffälligste Ereignis für das Jahr 2011 in diesem Zeitraum liegt: 34 Beschwerdeführer am 2. November 2011 in der Erzgebirgsregion.

Um eine statistische Klassifizierung für die Trajektorienbahnen zu erhalten, wurden drei bekannte Industriegebiete in Nordböhmen als Fixpunkte ausgewählt. Dabei handelt es sich um Vřesová, Kadaň und Litvínov, welche sich ungefähr auf einer Linie parallel des Erzgebirgshangs befinden und für das Falkenauer Becken sowie die Region Ústí repräsentativ sind. Um diese Orte wurde jeweils ein Kreis mit einem 10 km großen Radius gelegt. Liegt ein Punkt der Trajektorienbahn innerhalb dieses Gebiets, so werden diese „Treffer“ mithilfe eines Zählers aufsummiert. Auf diese Weise erhält man eine quantitative Aussage über die Herkunft der Luftmassen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind ebenfalls in Tabelle A.1 für jeden Beschwerdefall und dazugehörig ausgewählte Orte dargestellt. Darüber hinaus sind auch der minimale Abstand einer Trajektorie zum Zentrum der drei tschechischen Gebiete und die mittlere Windgeschwindigkeit entlang der Trajektorienbahn angegeben. Von den insgesamt betrachteten 142 Trajektorienbündeln sind 124 (87,3 %) Fälle windschwachen Lagen zuzuordnen, d.h. mit Windgeschwindigkeiten unter $5,5 \text{ m s}^{-1}$ (dies entspricht Windstärke 3 oder geringer auf der Beaufortskala). Mehr als zwei Drittel der Treffer (67,8 %) sind der Region Litvínov zuzuordnen, während sich die restlichen Treffer ungefähr gleichmäßig auf Vřesová und Kadaň verteilen. Die mittlere Windgeschwindigkeit für alle Fälle beträgt $3,16 \text{ m s}^{-1}$ bei einer Standardabweichung von $1,98 \text{ m s}^{-1}$

3.2 Analyse ausgewählter Falltypen und Sensitivität des Trajektorienmodells

Ein typisches Trajektorienbild zeigen die Abbildungen 3.1 und 3.2. Zu erkennen sind die Rückwärtstrajektorien für Zinnwald, welche in stündlichem Abstand zwischen 6 und 12 Uhr ankommen. Die zeitliche Dauer des Trajektorienpfades beträgt stets zehn Stunden. Dadurch liefert die Länge der Trajektorie eine Aussage über die über den Zeitraum vorherrschende Windgeschwindigkeit. Die Höhe des Luftpaketes über der Bodenorographie ist durch unterschiedliche Einfärbung gekennzeichnet (siehe Legende links unten im Bild). Die Zugbahnen dieser Luftmassen erstrecken sich nahezu parallel am Erzgebirgshang entlang, bevor sie dann am Zielort ankommen. Auffällig hierbei ist, dass die Trajektorien, welche in den Abendstunden des 4. Januars 2010 starten, eine sehr lange räumlich Ausdehnung aufweisen (Startpunkte zwischen Oberwiesenthal und Ostrov), währenddessen die 2-12-Uhr-Trajektorie nur eine Strecke von ca. 35 km zurücklegt. Dies lässt sich auf eine deutliche Abschwächung des Windes in den Nachtstunden zurückführen.

Ein ähnliches Bild ist in Abbildung 3.3 zu sehen – in diesem Fall mit Anströmrichtung aus Ost und gleichbleibender Windgeschwindigkeit. Anhand der durch diese Trajektorienbilder gewonnenen Information lässt sich jedoch nicht eindeutig feststellen, ob es sich um nur eine konkrete Emissionsquelle handelt, oder ob sich eventuell die Emissionen von mehreren Quellen im Nordböhmischen Becken ansammeln, vermischen und später in Richtung Norden transportiert werden. Dies kann mithilfe geeigneter Vorwärtstrajektorien und Tracerrechnungen genauer untersucht werden. Interessant und charakteristisch für beide Fälle ist, dass alle Trajektorienbahnen räumlich sehr eng beieinander liegen, was auf eine kontinuierlich stabile Wetterlage hindeutet, zu denen die Geruchsereignisse bekanntlich am häufigsten auftreten.

Im Folgenden soll die Sensitivität bezüglich der Höhenschichten untersucht

werden. Dabei steht Fall 4 im Mittelpunkt der Betrachtung, als in Oberwiesenthal am 22. März 2010 eine Geruchsmeldung abgegeben wurde (Rückwärtstrajektorien in Abbildung 3.4). Ausgehend von den Startpunkten Rotava, Chomotov, Kadaň, Litvínov und Most als potentielle Quellen soll die Höhenabhängigkeit der Trajektorien analysiert werden. Abbildung 3.5 zeigt die 50-Meter-Schicht für diesen Fall. Ausschließlich ab Rotava und für jeweils eine einzelne Vorwärtstrajektorie aus Chomotov und Litvínov ziehen die Luftmassen direkt nordwestlich ab. Alle anderen Trajektorien verbleiben im Bereich des Böhmisches Beckens und haben aufgrund der dortigen schwachen Winde eine geringere Länge. In der Höhenschicht von 200 m zeigen die Trajektorien jedoch eine andere Charakteristik. Dort ziehen die Luftmassen kurzzeitig in Richtung Westen und strömen im Anschluss fast ausnahmslos über das Erzgebirge hinweg (Abbildung 3.6).

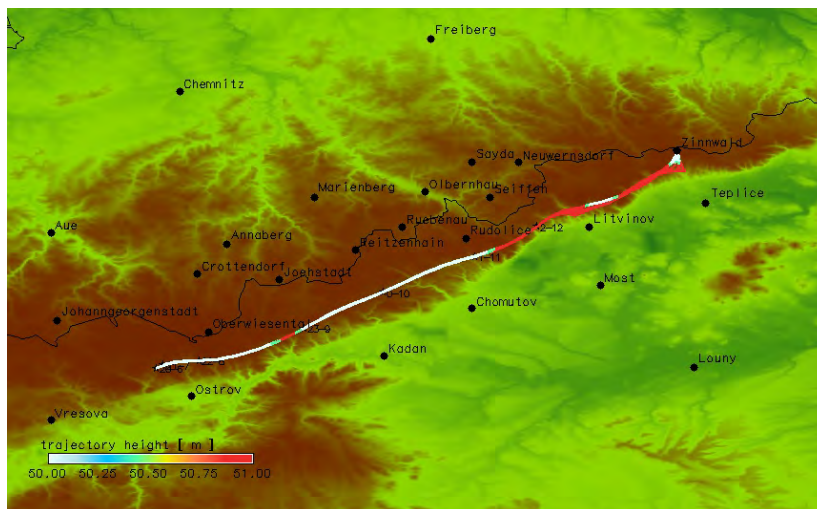


Abbildung 3.1: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Zinnwald am 5. Januar 2010 zwischen 6 und 12 Uhr

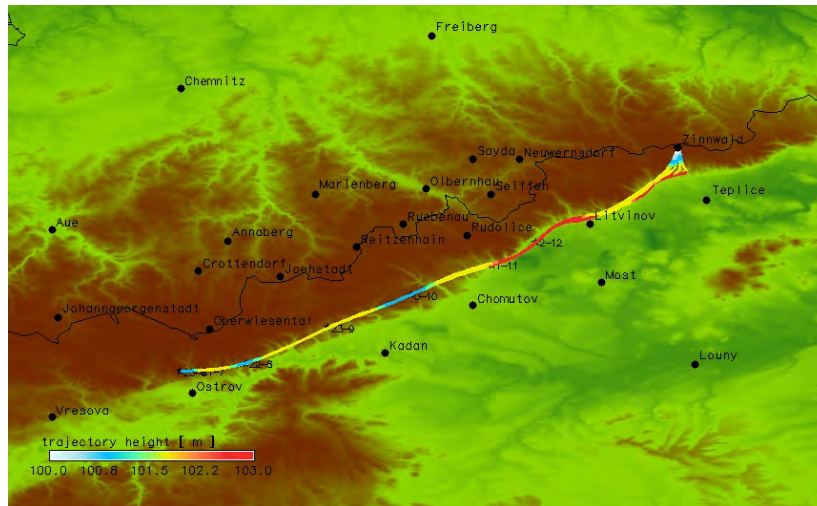


Abbildung 3.2: Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Zinnwald am 5. Januar 2010 zwischen 6 und 12 Uhr

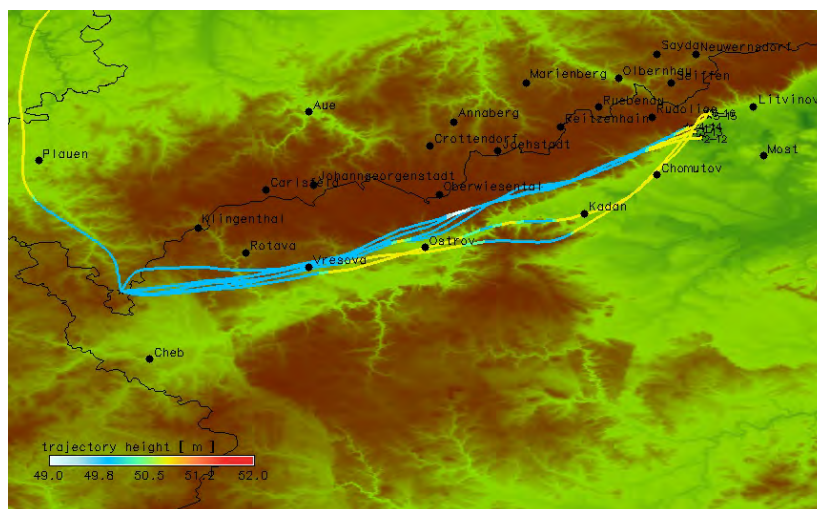


Abbildung 3.3: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Bad Brambach am 23. Dezember 2010 zwischen 12 und 18 Uhr

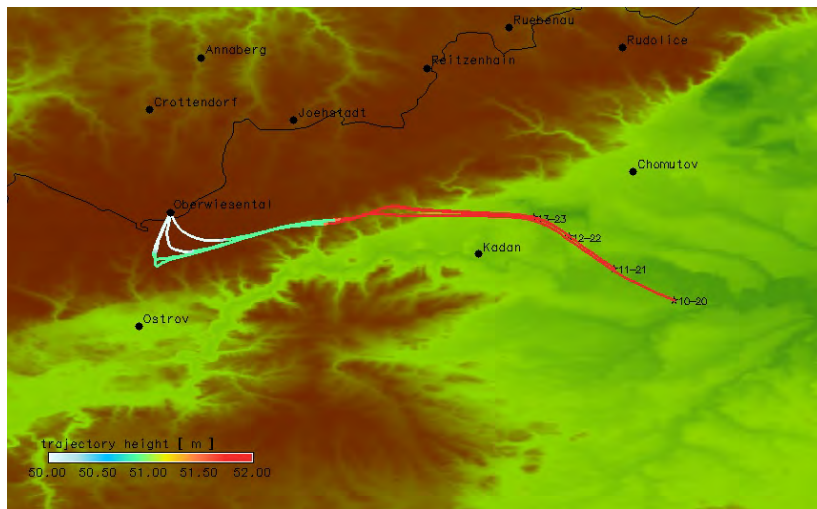


Abbildung 3.4: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Oberwiesenthal am 22. März 2010 zwischen 20 und 23 Uhr

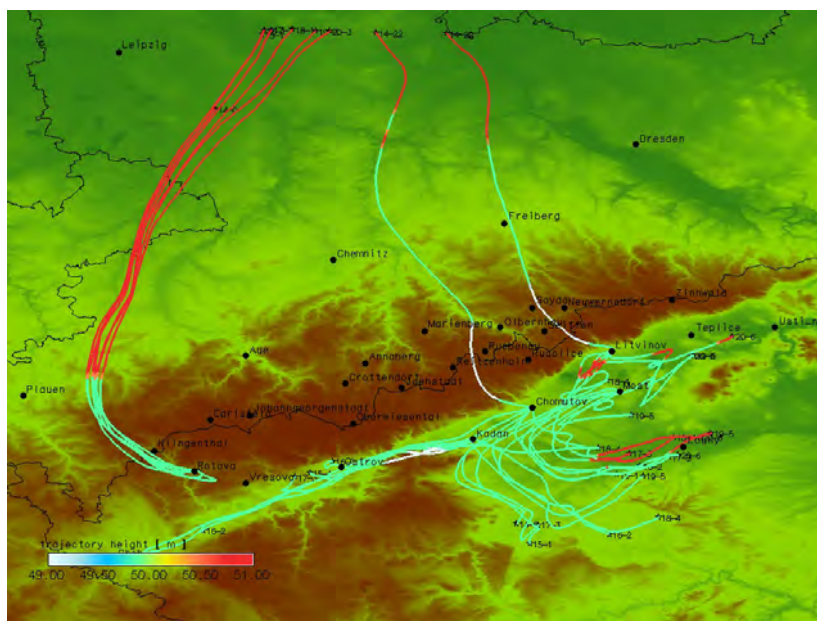


Abbildung 3.5: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Rotava, Chomotov, Kadaň, Litvínov und Most am 22. März 2010 zwischen 14 und 20 Uhr

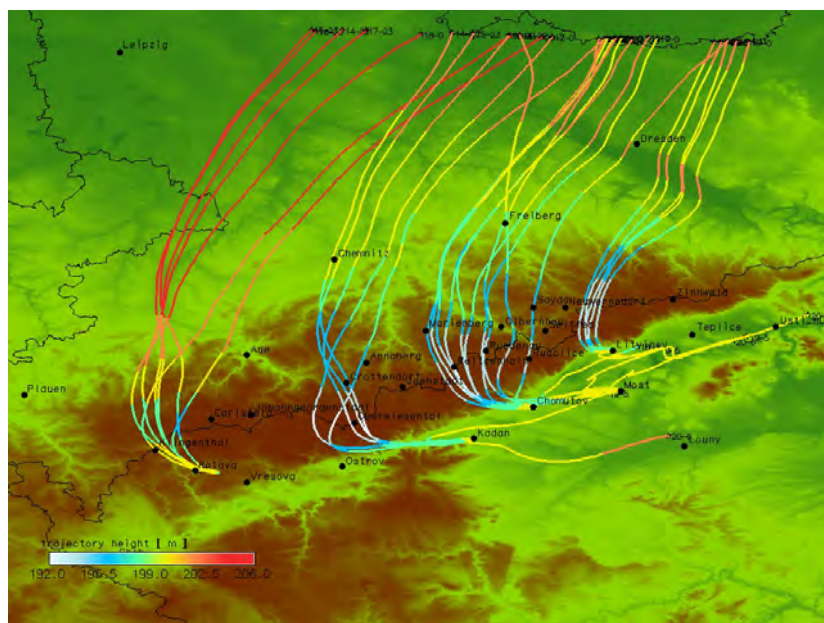


Abbildung 3.6: Vorwärtstrajektorien (200 m Höhe) für Rotava, Chomotov, Kadaň, Litvínov und Most am 22. März 2010 zwischen 14 und 20 Uhr

3.3 Untersuchung gemeldeter Havariefälle

3.3.1 Havarie im Druckgaswerk Vřesová vom 10. November 2010

Die Ursache dieser Havarie war der Ausfall des Hauptgebläses an einer Kolonne in der Sektion „Phenol“, welcher zu einem anhaltendem Austritt von Geruchsstoffen führte. Dieser Schaden wurde am 10. November gegen 14:30 Uhr repariert. An diesem Tag gab es daher auch Beschwerden direkt in Vřesová sowie in den tschechischen Nachbarorten Sokolov und Chodov. Die Abbildungen 3.7 und 3.8 zeigen die Rückwärtstrajektorien für einige der relevanten Orte im Erzgebirge. Für all diese Orte ist eine deutliche Südwest-Strömung erkennbar, wobei die Trajektorienpfade auch den bekannten Verursacher Vřesová passieren. Beim Vergleich zwischen der 50-m- und 100-m-Schicht sind in diesem Fall kaum Unterschiede zu erkennen.

Zur genaueren Analyse wurden für diesen Fall auch Vorwärtstrajektorien für die Region Vřesová berechnet. Dabei wurde der Startpunkt nicht nur in Vřesová selbst gelegt, sondern auch zwölf weitere Punkte in einem Umkreis von 5 und 10 km hinzugefügt, so dass die Sensitivität des Trajektorienmodells gegenüber räumlich benachbarten Quellen genauer untersucht werden kann (Abbildung 3.9). Es ist zu erkennen, dass die Trajektorienbahnen der weiter südlich liegenden Startpunkte im Böhmisches Becken bleiben, während die Luftmassen, die von Vřesová und dem nördlicheren Gebiet ausgehen, in Richtung Südsachsen ziehen.

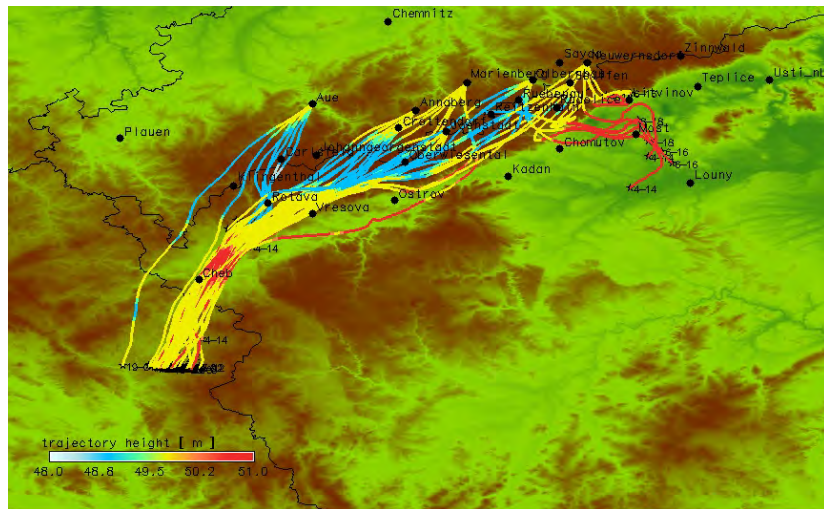


Abbildung 3.7: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Neuwernsdorf, Olbernhau, Marienberg, Annaberg, Jöhstadt, Seiffen, Crottendorf und Aue am 10. November 2010 zwischen 12 und 24 Uhr

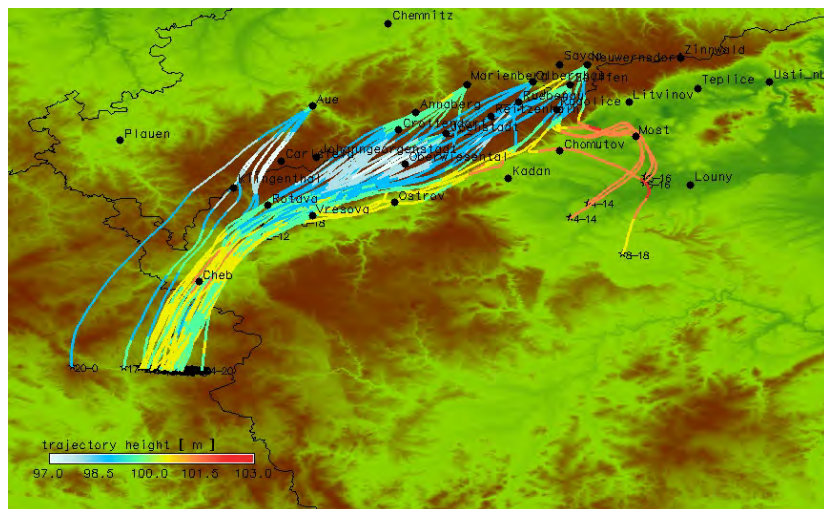


Abbildung 3.8: Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Neuwernsdorf, Olbernhau, Marienberg, Annaberg, Jöhstadt, Seiffen, Crottendorf und Aue am 10. November 2010 zwischen 12 und 24 Uhr

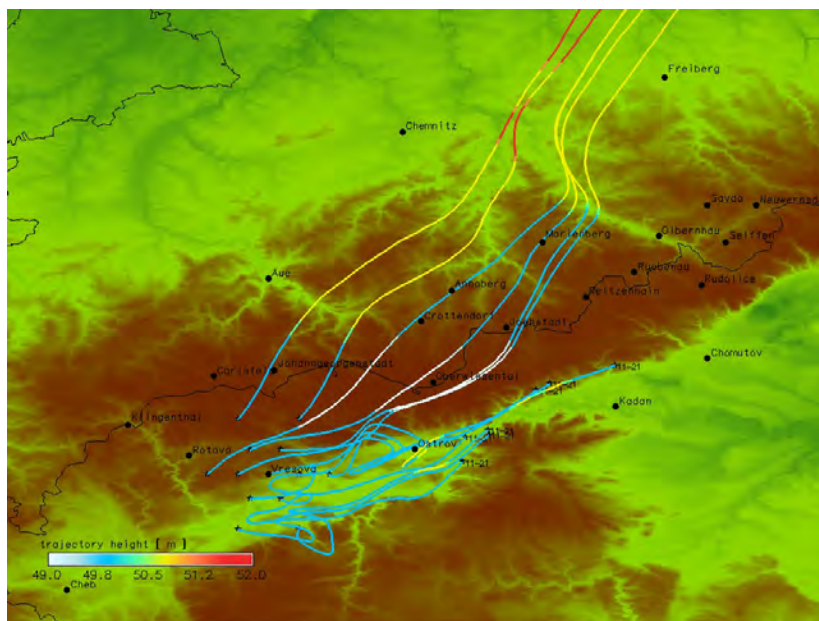


Abbildung 3.9: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Vřesová und Umgebung am 10. November 2010 um 11 Uhr

3.3.2 Havarie einer Claus-Anlage in Litvínov vom 18. Mai 2011

Am 18. Mai 2011 wurde um 19:40 Uhr eine undichte Stelle an der Einheit „4314 B01“ festgestellt. Die Anlage „Claus 4 (Bez. PS 4314)“ wurde unter Mithilfe der Betriebsfeuerwehr zurückgefahren. Das Prozessgas wurde auf die Claus 3-Anlage übergeleitet und der Überschuss verbrannt. Die gesamte H_2S -Produktion wurde auf der Feldfackel ZM wegen des Herunterfahrens der Anlage „Claus 4“ verbrannt. Ursache hierfür ist war die Havarie des Ofens P01 in dieser Anlage.

In den Abbildungen 3.10 und 3.11 deuten zunächst nur einige wenige Trajektorien auf die Quelle Litvínov hin, da als ursprüngliche Windrichtung zunächst Südwest vorherrschte und der Wind erst später in der Nacht auf Südost drehte. Auch in diesem Fall richtet sich das Bild der Vorwärtstrajektorien entscheidend nach der Wahl der Startpunkte. Alle südlich von Litvínov ausgehenden Trajektorien verlaufen in Richtung Westen, während die Luftmassen der Quellen nahe des Erzgebirgskammes in Richtung Nordwesten ziehen.

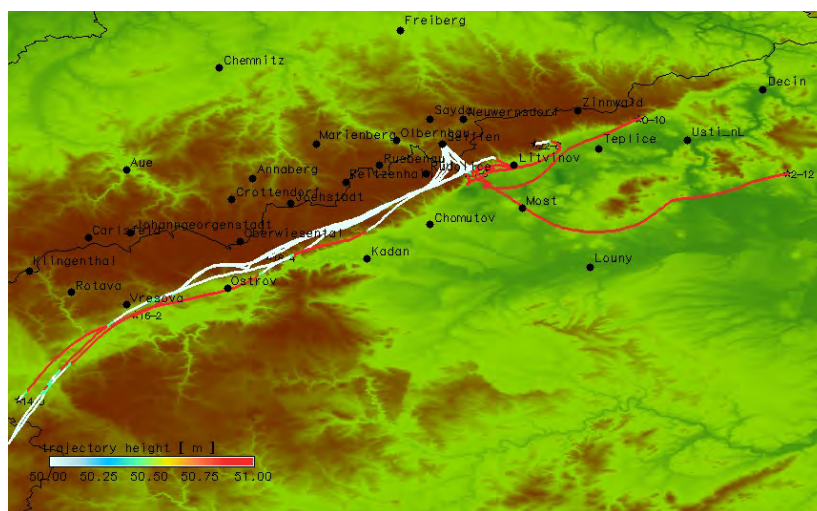


Abbildung 3.10: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seifen am 18./19. Mai 2011 zwischen 20 und 12 Uhr

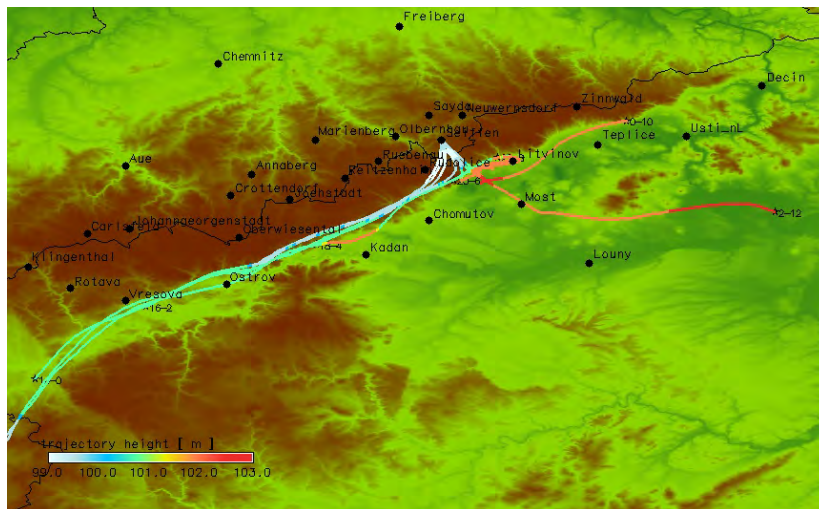


Abbildung 3.11: Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Seiffen am 18./19. Mai 2011 zwischen 20 und 12 Uhr

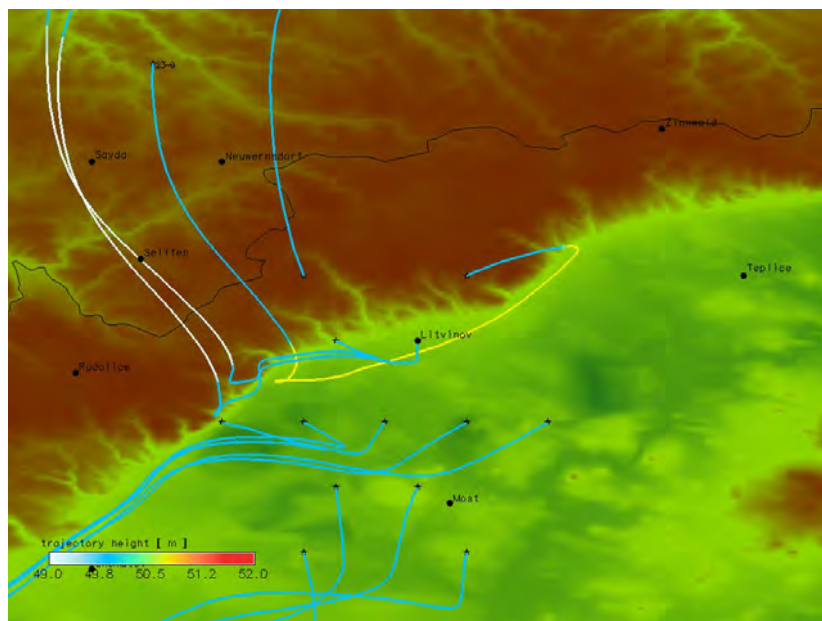


Abbildung 3.12: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Litvínov und Umgebung
am 18. Mai 2011 um 23 Uhr

3.3.3 Wartungsarbeiten in Litvínov vom 1.-3. September 2011

In der UNIPETROL RPA in Litvínov wurde am 31. August 2011 um 16:00 Uhr eine neue Einheit eingeschaltet. Vom 1. bis 3. September 2011 fanden daraufhin planmäßige Bauarbeiten statt. Am 1. September wurden auf dem Schwartenberg sehr hohe SO_2 -Werte registriert. In Tschechien (Krupka) wurden an diesem Tag ebenfalls erhöhte Werte registriert, jedoch nicht so hoch wie auf deutscher Seite.

Die Abbildungen 3.13 und 3.14 zeigen die Rückwärtstrajektorien für Seiffen vom 1. September 2011. Wiederum ist erkennbar, dass die Luftmassen sich zunächst parallel zum Erzgebirgskamm bewegen und dann in Richtung Nordwesten getragen werden. Betrachtet man die dazugehörigen Vorwärtstrajektorien (Abbildung 3.15) für die Region Litvínov, so ist deutlich zu erkennen, dass nur ausgehend von den nördlichsten Startpunkten die Luft nach Südsachsen transportiert wird – bei allen anderen in Richtung Südwest.

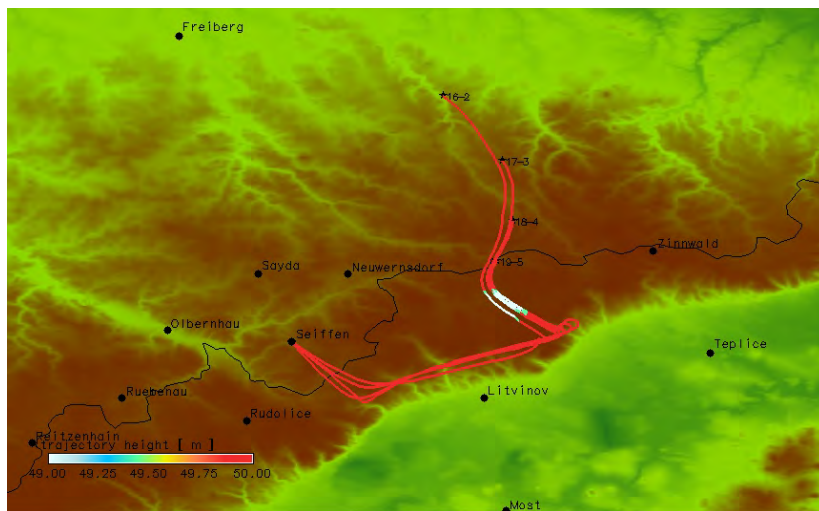


Abbildung 3.13: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seiffen am 1. September 2011 zwischen 2 und 5 Uhr

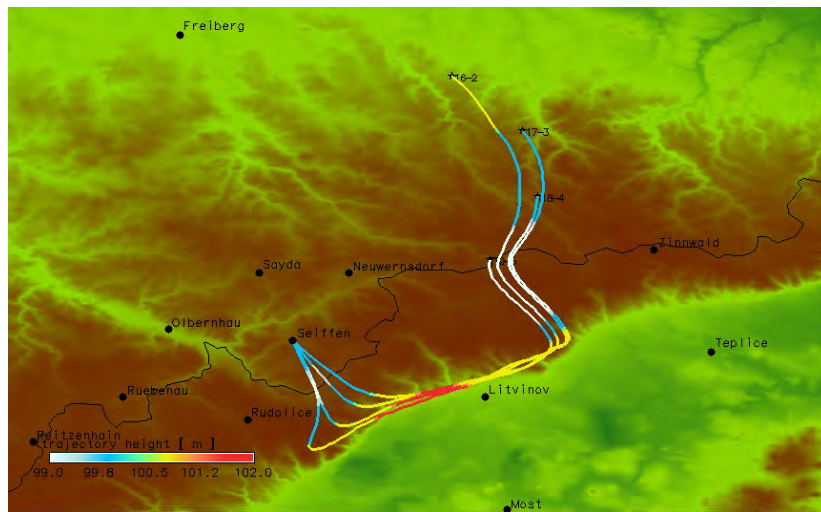


Abbildung 3.14: Rückwärtstrajektorien (100 m Höhe) für Seiffen am 1. September 2011 zwischen 2 und 5 Uhr

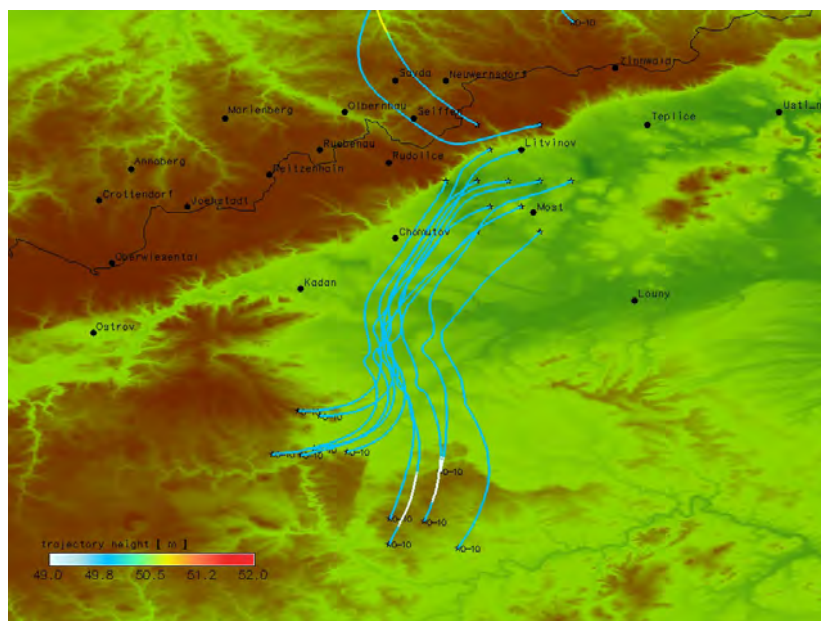


Abbildung 3.15: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Litvínov und Umgebung am 1. September um 0 Uhr

3.4 Darstellung typischer Strömungsmuster anhand flächendeckend verteilter Quellen

Für die folgenden Simulationen wurden südlich des Erzgebirgshangs 33 Stationen als Quellpunkte für Vorwärtstrajektorien ausgewählt. Dabei soll untersucht werden, inwiefern sich ein „Ansammeln“ der Luftmassen im Böhmischem Becken entwickeln kann.

Der erste zu betrachtende Fall ist der 2./3. November 2010 (siehe Rückwärtstrajektorien in Abbildung 3.16). Es ist zu erkennen, dass die Luftmassen nicht direkt das Gebirge überströmen, sondern auf tschechischer Seite erst west- bis südwestwärts ziehen, und erst später nach Nordwesten in Richtung Vogtland gelangen. Nimmt man nun die dazugehörigen Vorwärtstrajektorien von vielen, flächendeckend verteilten Quellen in Abbildung 3.17 in Augenschein, so stellt man für das Vogtlandgebiet die gleiche Strömungsstruktur fest, welche bereits durch die Rückwärtstrajektorien erkennbar waren. Darüber hinaus ist jedoch auch zu sehen, dass einige Trajektorien auf tschechischer Seite verharren und eine geringere (zeitliche) Länge aufweisen. Eine Trajektorie überfliegt direkt das Erzgebirge und Trajektorien mit den östlichsten Startpunkten ziehen ebenfalls sofort in Richtung Nordwesten.

Im Folgenden soll Fall Nr. 32 betrachtet werden. Abbildung 3.18 zeigt die Rückwärtstrajektorien für Seiffen am 17. Januar 2011 zwischen 6 und 12 Uhr. Es herrschte zunächst eine südwestliche Strömung vor, was sich mit dem Bild der Vorwärtstrajektorien am 16. Januar um 22 Uhr deckt (Abbildung 3.19). Jedoch erreicht keine Trajektorie zu diesem Zeitpunkt Seiffen, da die Luftmassen wiederum erst östlich des Erzgebirges nach Norden strömen. Einige Stunden später ergibt sich jedoch ein verändertes Bild der Vorwärtstrajektorien (Abbildung 3.20). Zu dieser Zeit strömt die Luft direkt nordostwärts über das Mittlere und Osterzgebirge. Insofern kann von einem Ansammeln der Luft im Böhmischem Becken in

den Nachtstunden ausgegangen werden, welche dann in der zweiten Nachthälfte bzw. den Morgenstunden in Richtung Südsachsen transportiert wurde.

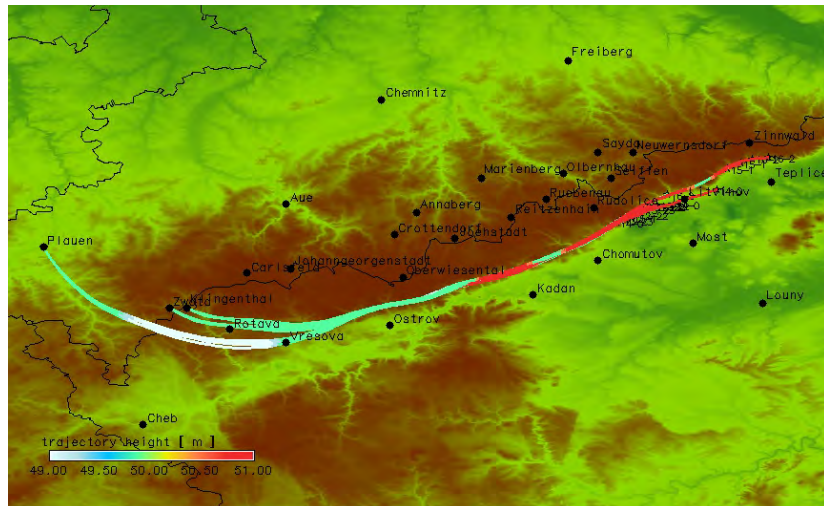


Abbildung 3.16: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Zwota, Klingenthal und Plauen am 2./3. Oktober 2010 zwischen 22 und 2 Uhr

3.4. DARSTELLUNG TYPISCHER STRÖMUNGSMUSTER ANHAND FLÄCHENDECKEND VERTEILTER QUELLEN

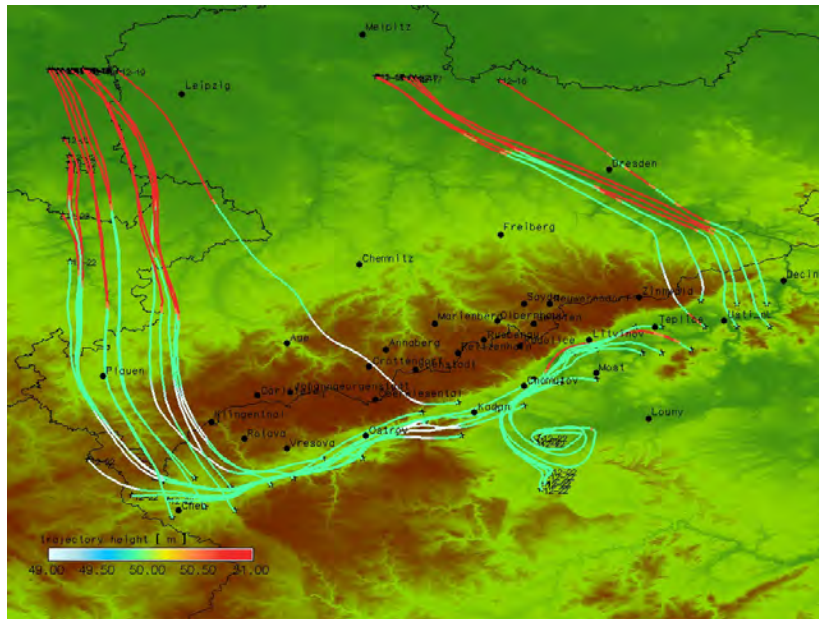


Abbildung 3.17: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 2. Oktober 2010 um 12 Uhr

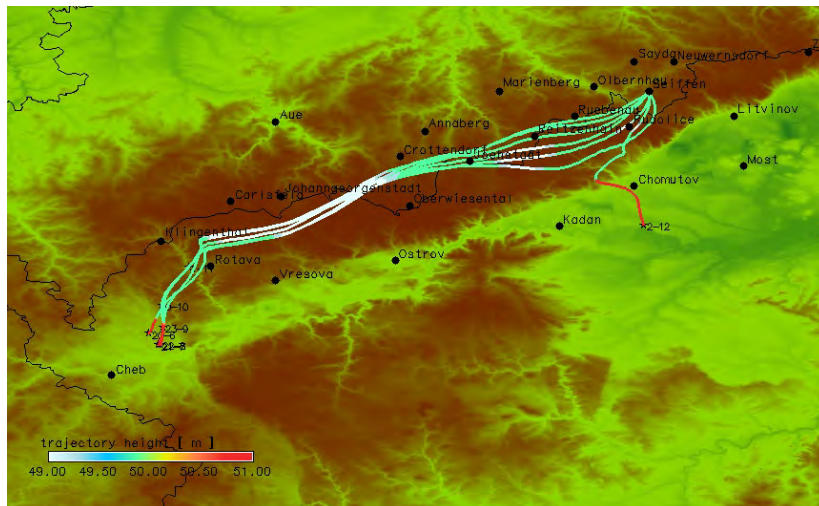


Abbildung 3.18: Rückwärtstrajektorien (50 m Höhe) für Seiffen am 17. Januar 2011 zwischen 6 und 12 Uhr

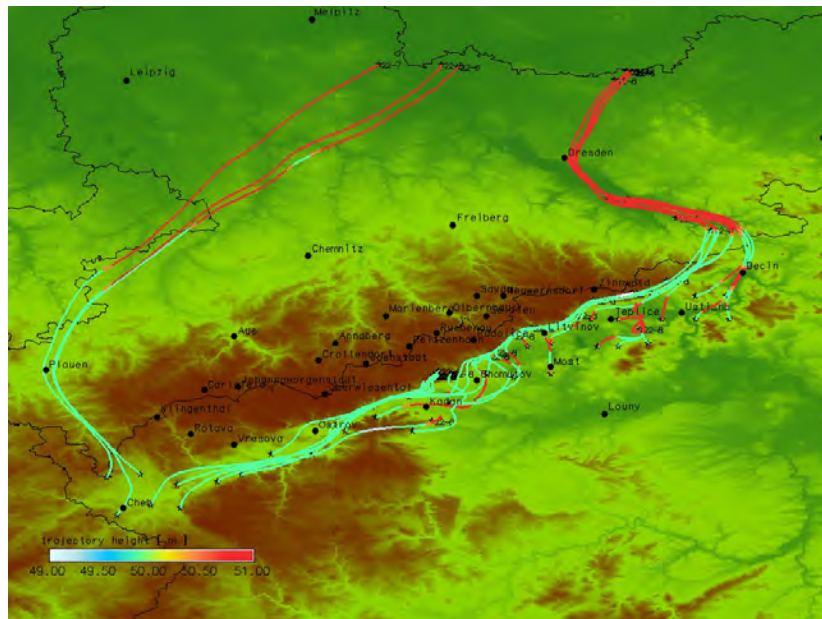


Abbildung 3.19: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 17. Januar um 22 Uhr

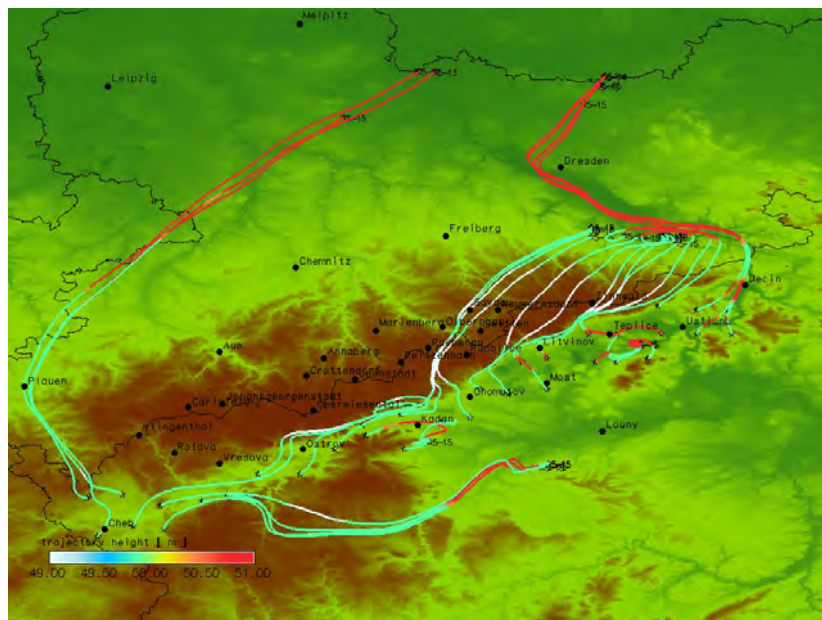


Abbildung 3.20: Vorwärtstrajektorien (50 m Höhe) für flächendeckend verteilte Quellen am 18. Januar um 5 Uhr

4 Tracerrechnungen

Neben den beschriebenen Trajektorienrechnungen wurden zur Analyse auch Simulationen mit passiven Tracern durchgeführt. Hierzu ist aus 35 fiktiven Punktquellen jeweils ein zugehöriger Tracer kontinuierlich emittiert worden. Die Emissionen erfolgten flächendeckend sowohl in der Bodenschicht als auch in 200 m Höhe in der Region, in der die Verursacher der Geruchsereignisse vermutet werden. An den Havarieorten sind Punktquellen in weiteren Höhen verwendet worden. Die zeitlich konstante Emissionsstärke jeder dieser fiktiven Punktquellen beträgt 1 g/s. Dadurch ist eine Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Quellregionen auf die Konzentration im Zielort möglich. Durch die Auswertung der Zeitreihen in den Beschwerdeorten kann dann relativ leicht erkannt werden, ob Luftmassen von einem bestimmten Ausgangsort dorthin transportiert wurden. Außerdem bietet diese Vorgehensweise die Möglichkeit, die Strömungsverhältnisse zu veranschaulichen und mögliche Verursacher zu erkennen. Diese Vorgehensweise bietet die Möglichkeit, die Strömungsverhältnisse zu veranschaulichen und mögliche Verursacher zu erkennen. Außerdem kann durch die Auswertung der Zeitreihen in den Beschwerdeorten relativ leicht erkannt werden, ob Luftmassen von einem bestimmten Ausgangsort dorthin transportiert wurden. Die Tracersimulationen wurden sowohl auf dem G1- als auch auf dem G2-Gebiet ausgeführt. Da ein Zusammenhang der Geruchsereignisse mit hohen SO₂-Belastungen vermutet wird, sind außerdem die SO₂-Konzentrationen modelliert worden. Hierfür ist ein am IfT vorhandenes Emissionskataster genutzt worden, dass auf tschechischer Seite nur eine relativ grobe horizontale räumliche Auflösung von $8 \times 8 \text{ km}^2$ be-

sitzt. Die großen Punktquellen sind als solche direkt verwendet worden. Aufgrund fehlender technischer Informationen über die Punktquellen war eine Parametrisierung der Schornsteinüberhöhung nicht möglich. Deshalb wurde für die vertikale Aufteilung dieser Punktquellen ein von der TNO in Utrecht vorgeschlagenes Profil verwendet. Alle Spezies werden als inerte Stoffe transportiert. Ihre Randwerte sind Null. Für SO_2 wird die trockene und nasse Deposition berechnet.

Im Gegensatz zu den Trajektorien berücksichtigt man bei der Ausbreitung der Tracer auch diffusive Prozesse. Dafür lässt sich der zeitliche Verlauf der Flugbahn der entsprechenden Luftpakete nur sehr schwer zuordnen. Die modellierten Abluftfahnen hängen einerseits von der meteorologischen Situation (Wind, Inversionen), aber auch stark von den orographischen Besonderheiten ab. Als problematisch haben sich Wetterlagen mit schwachen südlichen Winden und Inversionen herausgestellt. Dabei stauen sich die Luftmassen am Erzgebirge im nordböhmischen Becken. Beim Aufbrechen der Inversion oder der Zunahme des Windes „schwappt“ dann der Emissionsmix über den Kamm und führt zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen (und damit einhergehenden Geruchsbelästigungen) im Erzgebirgsraum. Die resultierenden Strömungsverhältnisse werden nachfolgend für zwei ausgewählten Episoden (Abschnitt 4.2) und die drei Havariefälle (Abschnitt 4.3) diskutiert. Zur Veranschaulichung sind sowohl Zeitreihen als auch Flächenplots verwendet worden. Weitere Darstellungen und einige Animationen werden auf der innerhalb des Projektes erstellten CD bereitgestellt. Vor der Analyse der Geruchsereignisse sollen einige Vergleiche der Modellergebnisse mit Messungen die Leistungsfähigkeit, aber auch die Defizite der Simulationen aufzeigen.

4.1 Vergleich mit Messungen

4.1.1 Meteorologie

In den Abbildungen 4.1–4.6 werden modellierte Temperaturverläufe, Windgeschwindigkeiten und –richtungen mit Messwerten verglichen. Insgesamt kann eine relativ gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messungen festgestellt werden. Dies gilt sowohl für die Temperaturen als auch für den Wind und die Läufe auf beiden Modellgebieten. Bei der Temperatur fällt allerdings auf, dass die gemessenen starken Tag-Nacht-Schwankungen, insbesondere in Schwartenberg, nicht vollständig reproduziert werden können (vgl. Abb. 4.1–4.3, 4.6). In allen dargestellten Szenarien kommt der Wind im interessierenden Zeitraum aus südlichen Richtungen und die Windgeschwindigkeiten liegen im Mittel unter 6 m/s. Interessant ist die Winddrehung um zweimal 360 Grad am 1./2. September 2011 (vgl. Abb. 4.6), die durch das Modell richtig wiedergegeben wird.

4.1.2 SO₂-Konzentrationen

Die modellierten SO₂-Konzentrationen von Schwartenberg und Rudolice werden in den Abbildungen 4.7 und 4.10 mit Messungen verglichen. Die gemessenen Spitzen in den Abendstunden des 22. März 2010 werden zum richtigen Zeitpunkt simuliert, allerdings sehr stark überschätzt. Im Unterschied dazu unterschätzt das Modell die SO₂-Maxima nach Mitternacht. In den Abendstunden des 13. Oktobers 2010 wurden in Schwartenberg kurzzeitig Konzentrationen über 200 µg/m³ gemessen. Das Modell generiert zu diesem Zeitpunkt ebenfalls höhere Werte, aber nur eine Spitzenkonzentration von knapp über 40 µg/m³. In Abbildung 4.8 sieht man zu diesem Zeitpunkt in der Bodenschicht eine SO₂-Ansammlung in Nordböhmen mit kleineren, eher diffusen Ausläufern ins Erzgebirge. In der Nähe von Seiffen erkennt man eine kleine lokalisierte Strömung ins Erzgebirge hinein,

die allerdings Schwartenberg nicht erreicht. In 300 m Höhe ist diese Strömung ebenfalls zu sehen und geht vom Kraftwerk in Litvinov aus. Insgesamt sind die Abluftfahnen in dieser Höhe aber stark lokalisiert. Es ist möglich, dass eine solche Abluftfahne die sehr hohen Konzentrationen in Schwartenberg verursacht hat. Hierfür spricht auch die Tracerverteilung in Abbildung 4.15. Vielleicht sind die extrem hohen Konzentrationen jedoch auch durch lokale Quellen hervorgerufen worden. Nachts gab es eine starke Inversion, die sich erst am nächsten Morgen aufgelöst hat (vgl. Abb. 4.9).

Sehr hohe SO_2 -Werte sind auch am 18./19. Mai 2011 und am 1. September 2011 gemessen worden. Die „Zackenkurven“ in den Zeitreihen sowie die extremen Konzentrationen von z.T. über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lassen vermuten, dass dies durch die Abluftfahne eines Großkraftwerks verursacht wurde, die mehrfach über den Messstandort hinweggestrichen ist. Die modellierten Kurven zeigen gut korrelierte Spitzen, die allerdings sehr viel kleiner sind.

4.2 Augewählte Beschwerdefälle

Hier sollen die Fälle 4 und 15 untersucht werden, die relativ typisch für Geruchsereignisse sind. Die Tracer-Zeitreihen in Abbildung 4.11 sind ein guter Indikator dafür, welche Quellen den Zielort (hier Oberwiesenthal) zu welcher Zeit erreicht haben. Die obere Abbildung zeigt, dass der G1-Lauf größere Konzentrationen des Kadan-Tracers in Oberwiesenthal liefert als der G2-Lauf. Ursache könnte hierfür eine breitere Streuung der Abluftfahne sein, die dadurch Oberwiesenthal noch erreicht. In der feiner aufgelösten G2-Simulation dagegen streift die Abluftfahne den Ort nur leicht (vgl. Abb. 4.12). Zum Zeitpunkt des Geruchsereignisses (22. März 2010, 21-22 Uhr) erreichten Luftmassen aus unterschiedlichen Quellregionen Oberwiesenthal. Das lässt eine starke Durchmischung der Luftmassen im Nordböhmisches Becken vermuten. Dabei sind größere Unterschiede zwischen der Bodenschicht und den höheren Schichten zu beobachten (vgl. Abb. 4.13). Bemer-

kenswert ist außerdem die Änderung der Mischungsschichthöhen vom 22. März zum 23. März (vgl. Abb. 4.13). Während am 22. März eine gute Durchmischung in Nordböhmen modelliert wird, ist die Mischungsschichthöhe hier am Vormittag des 23. März sehr gering. Dafür werden in Sachsen Höhen bis zu 900 m simuliert. Am Vortag dagegen sind hier geringe Mischungsschichthöhen zu beobachten, abgesehen von einigen kleineren Gebieten am Erzgebirgsrand. Das Ereignis 15 (siehe Abb. 4.15) ist ebenfalls ein Beispiel für Unterschiede im Ausbreitungsverhalten am Boden und in höheren Schichten.

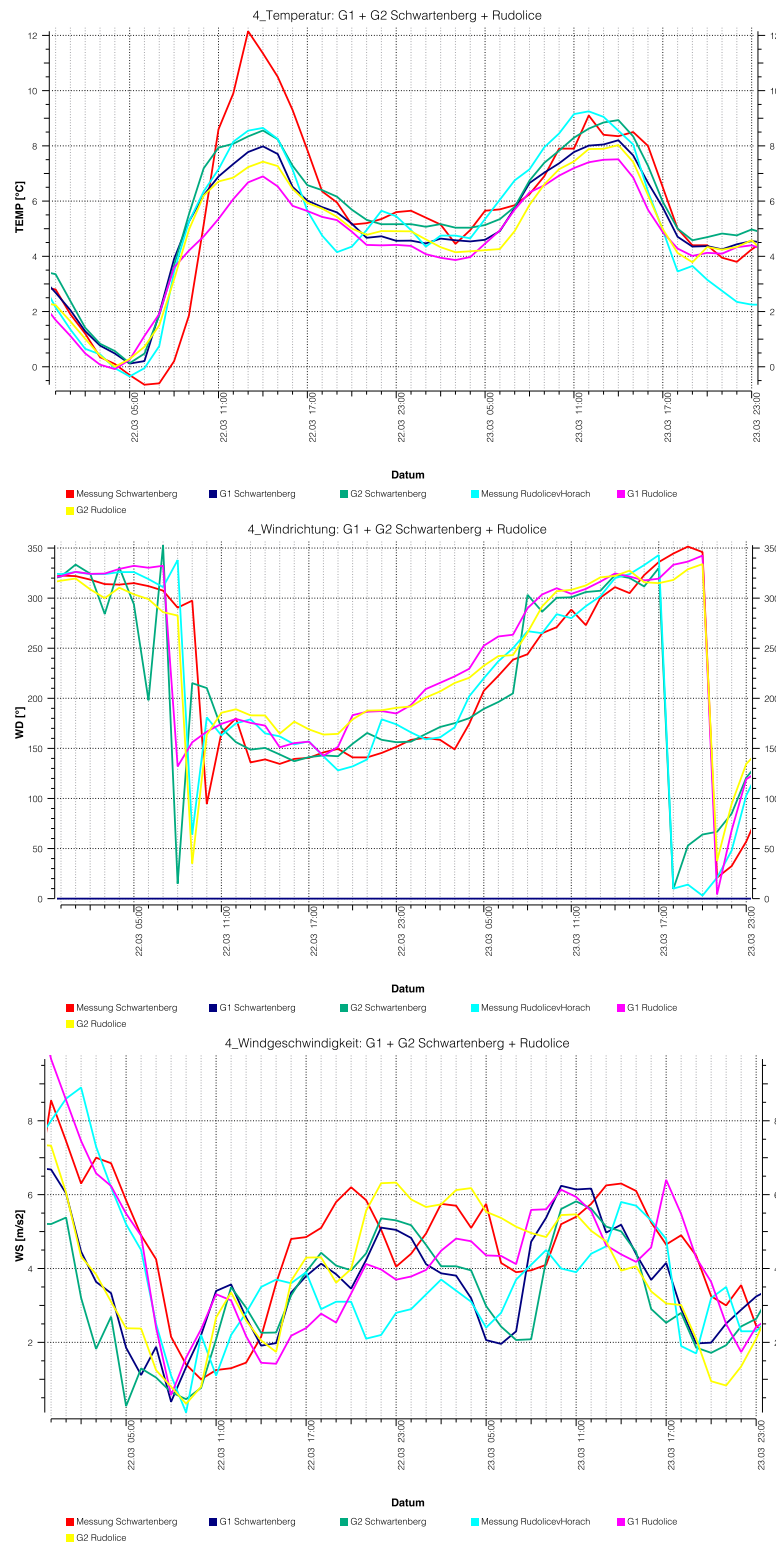


Abbildung 4.1: Vergleich der G1- und G2-Simulationen mit Messungen in Schwarzenberg und Rudolice für den 22./23. März 2010: Temperatur (oben), Windrichtung (Mitte) und Windgeschwindigkeit (unten).



Abbildung 4.2: Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 13.-15. Oktober 2010: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).

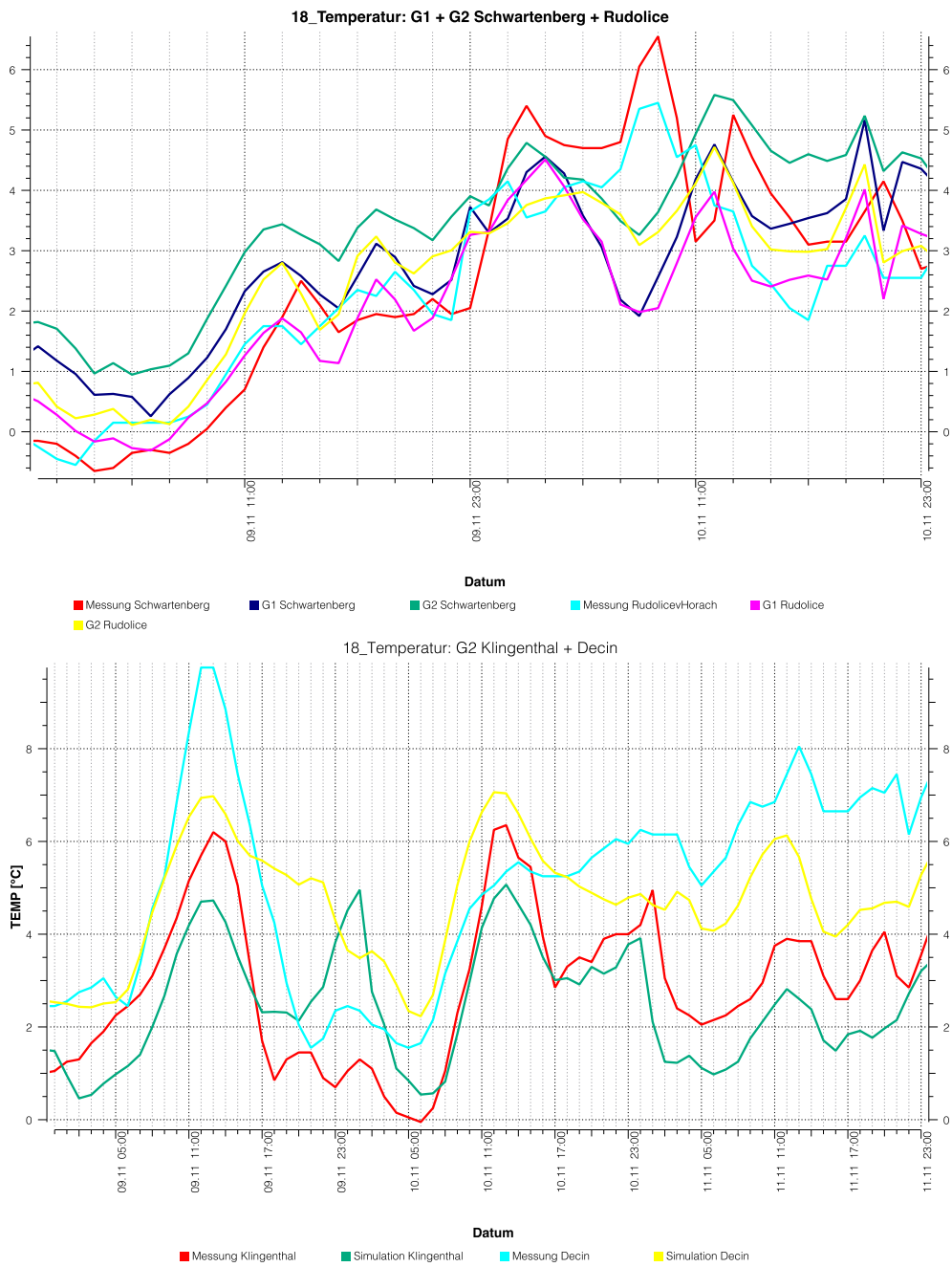


Abbildung 4.3: Vergleich der G1- und G2-Simulationen mit Temperaturmessungen in Schwartenberg und Rudolice (oben) sowie Decin und Klingenthal (unten) für den 9./10. Oktober 2010.

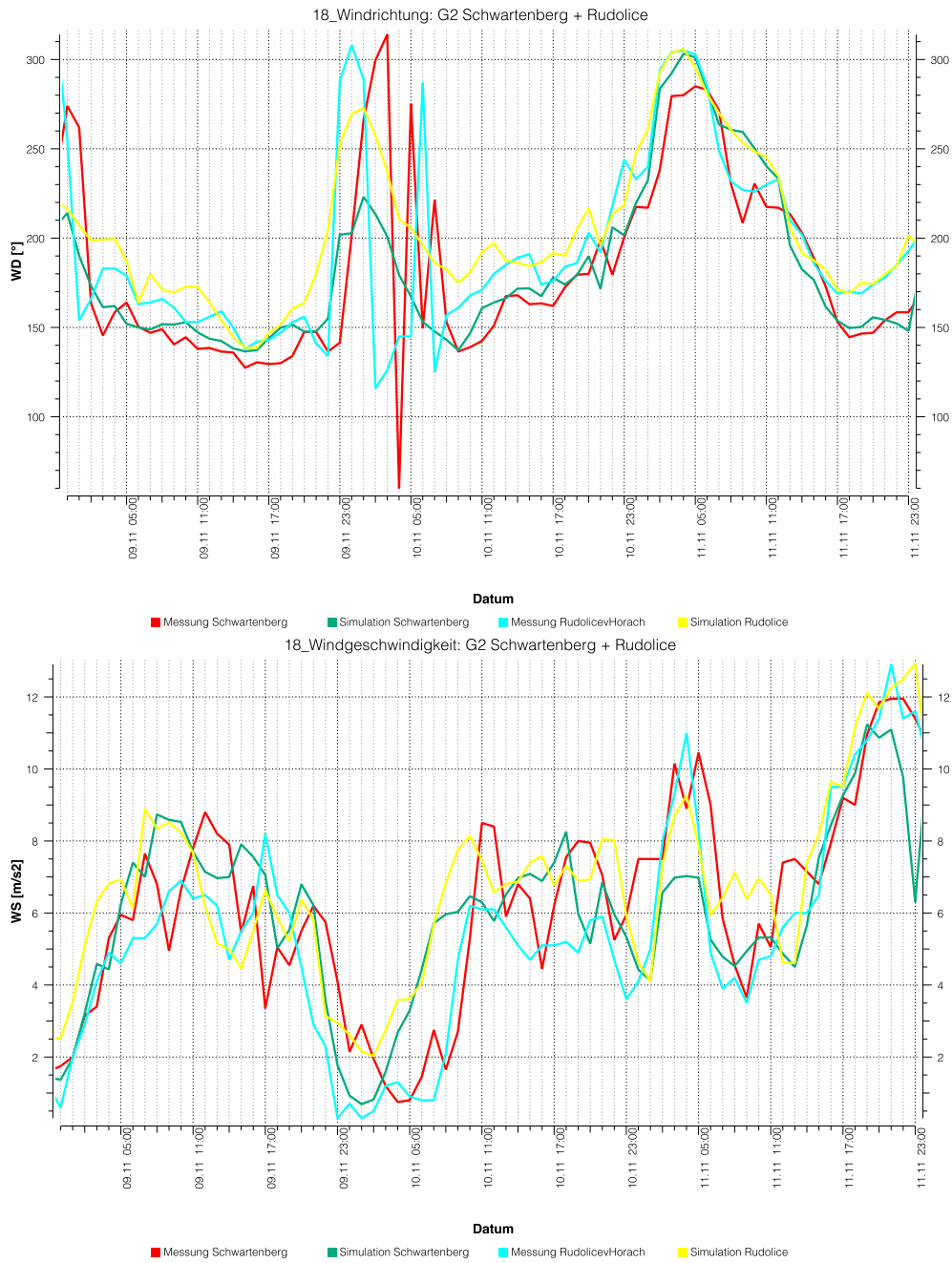


Abbildung 4.4: Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 9./10. Oktober 2010: Windrichtung (oben) und Windgeschwindigkeit (unten).

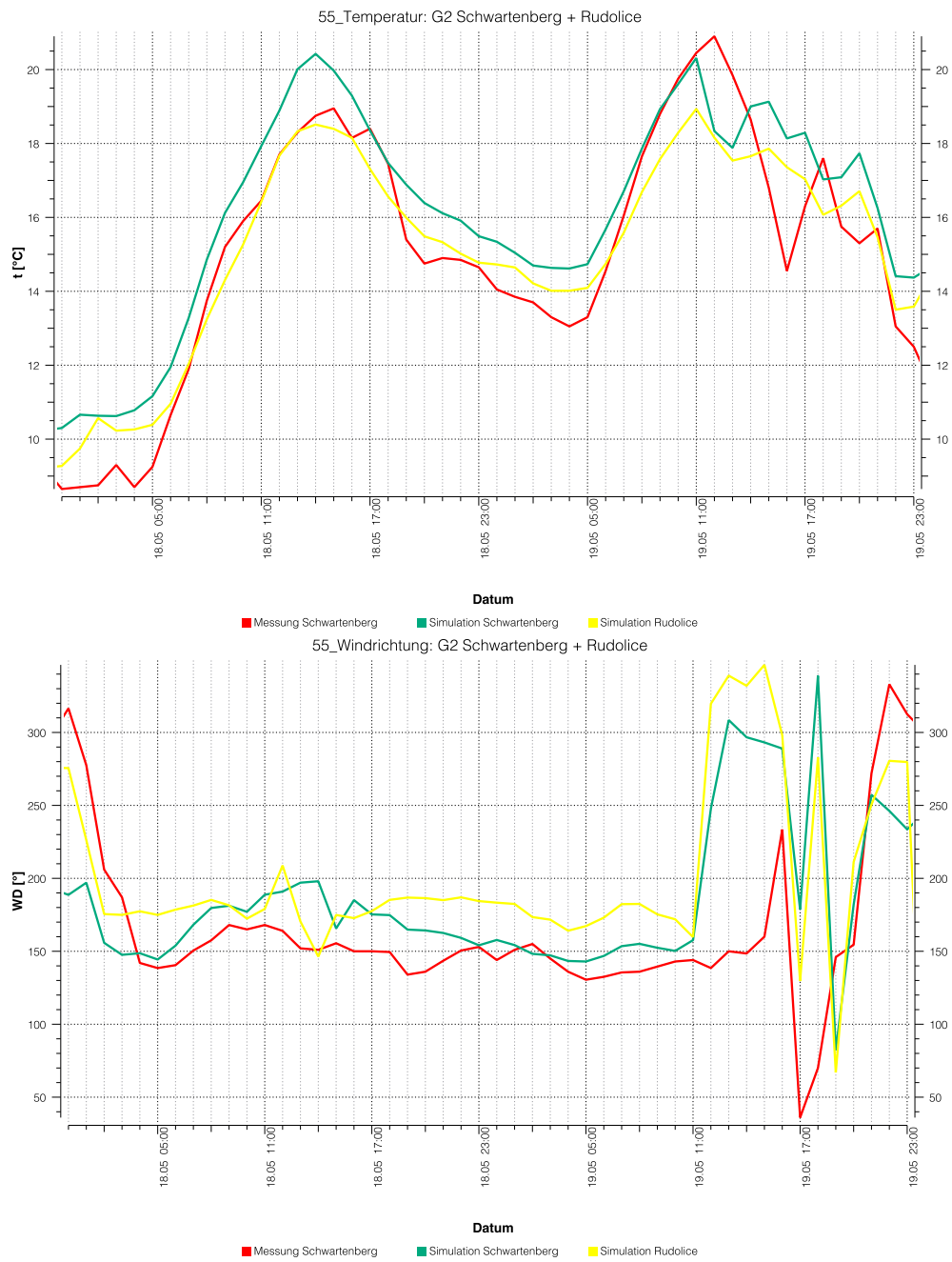


Abbildung 4.5: Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 18./19.05.2011: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).

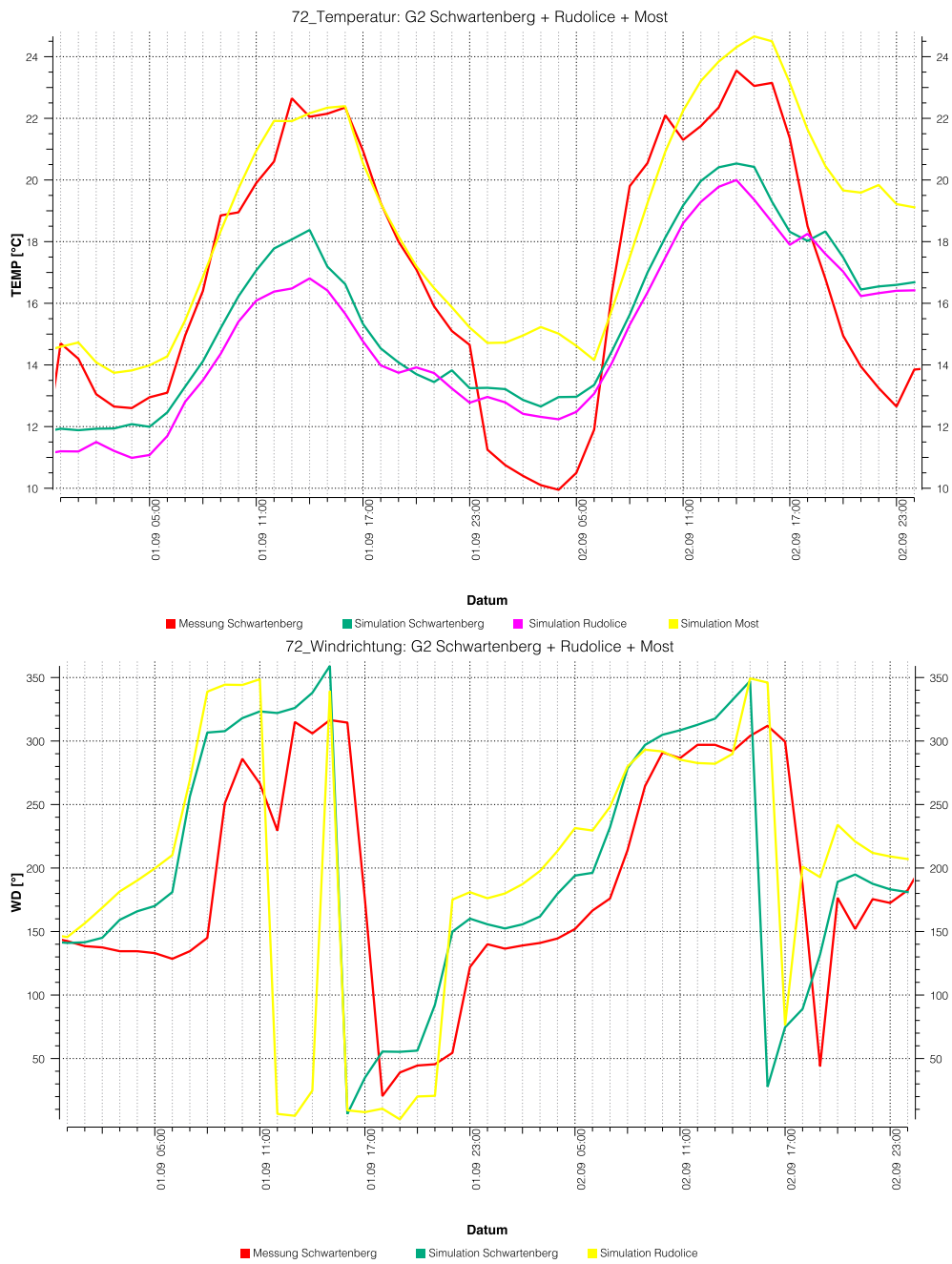


Abbildung 4.6: Vergleich der G2-Simulation mit Messungen in Schwartenberg und Rudolice für den 1./2. September 2011: Temperatur (oben) und Windrichtung (unten).



Abbildung 4.7: Vergleich der SO₂-Simulation mit Messungen in Schwartenberg sowie Rudolice: 22./23. März 2010 (oben) und 13.-15. Oktober 2010 (unten).

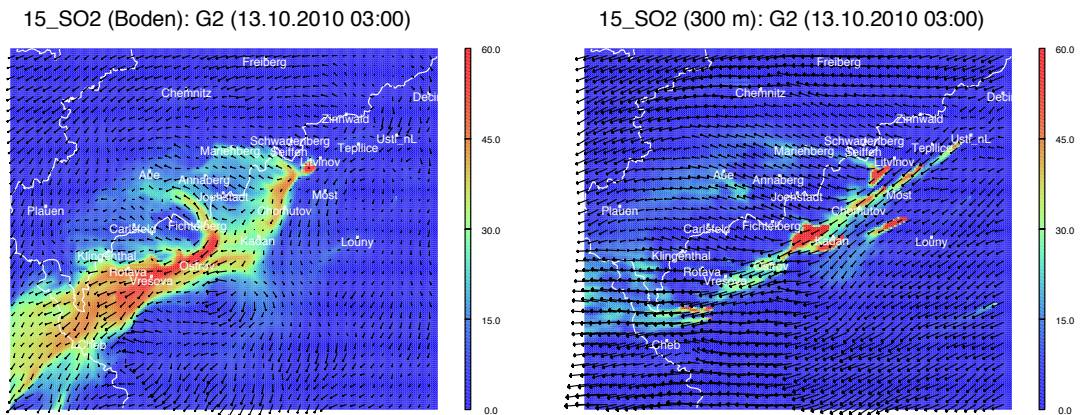


Abbildung 4.8: SO₂-Konzentration am Boden und in 300 m Höhe am 13. Oktober 2010 um 3:00 Uhr.

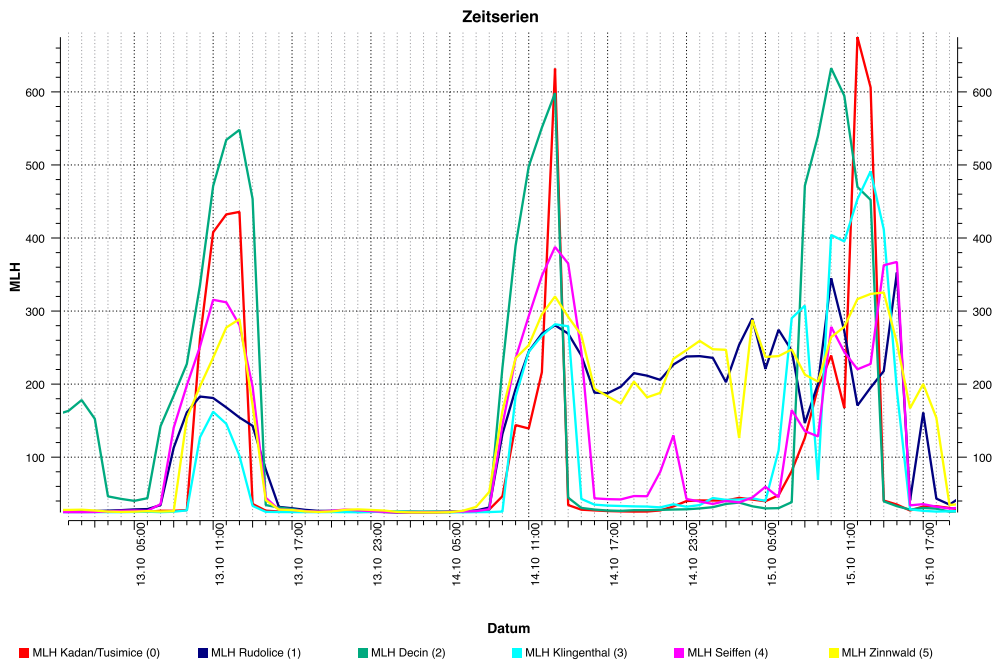


Abbildung 4.9: Modellierter Mischungsschichthöhen für die G2-Simulation an unterschiedlichen Orten im Erzgebirge und in Nordböhmen für die Periode vom 13.-15. Oktober 2010.

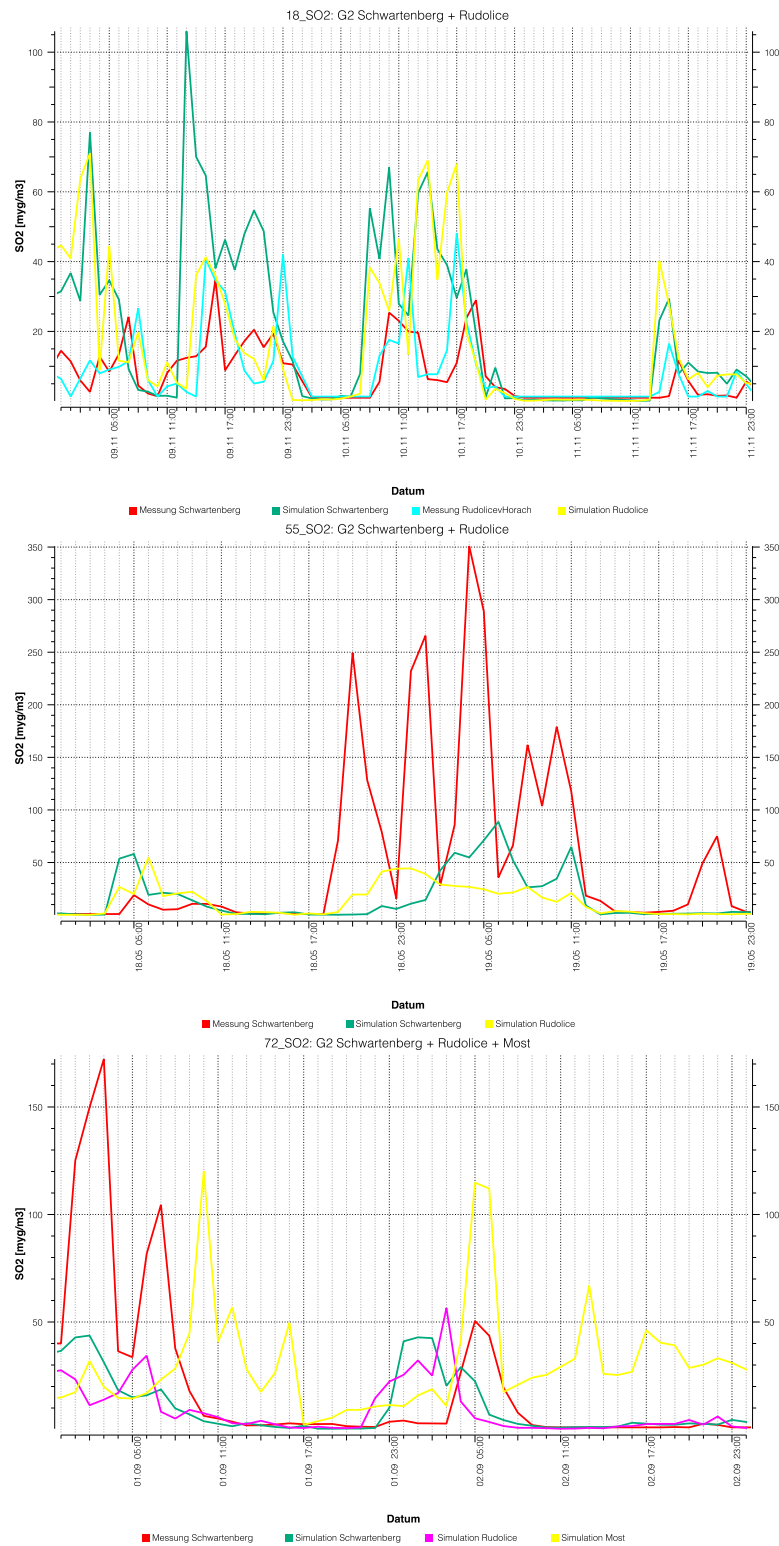


Abbildung 4.10: Vergleich der SO₂-Konzentrationen in Rudolice und Schwartenberg für die Fälle 18, 55 und 72.

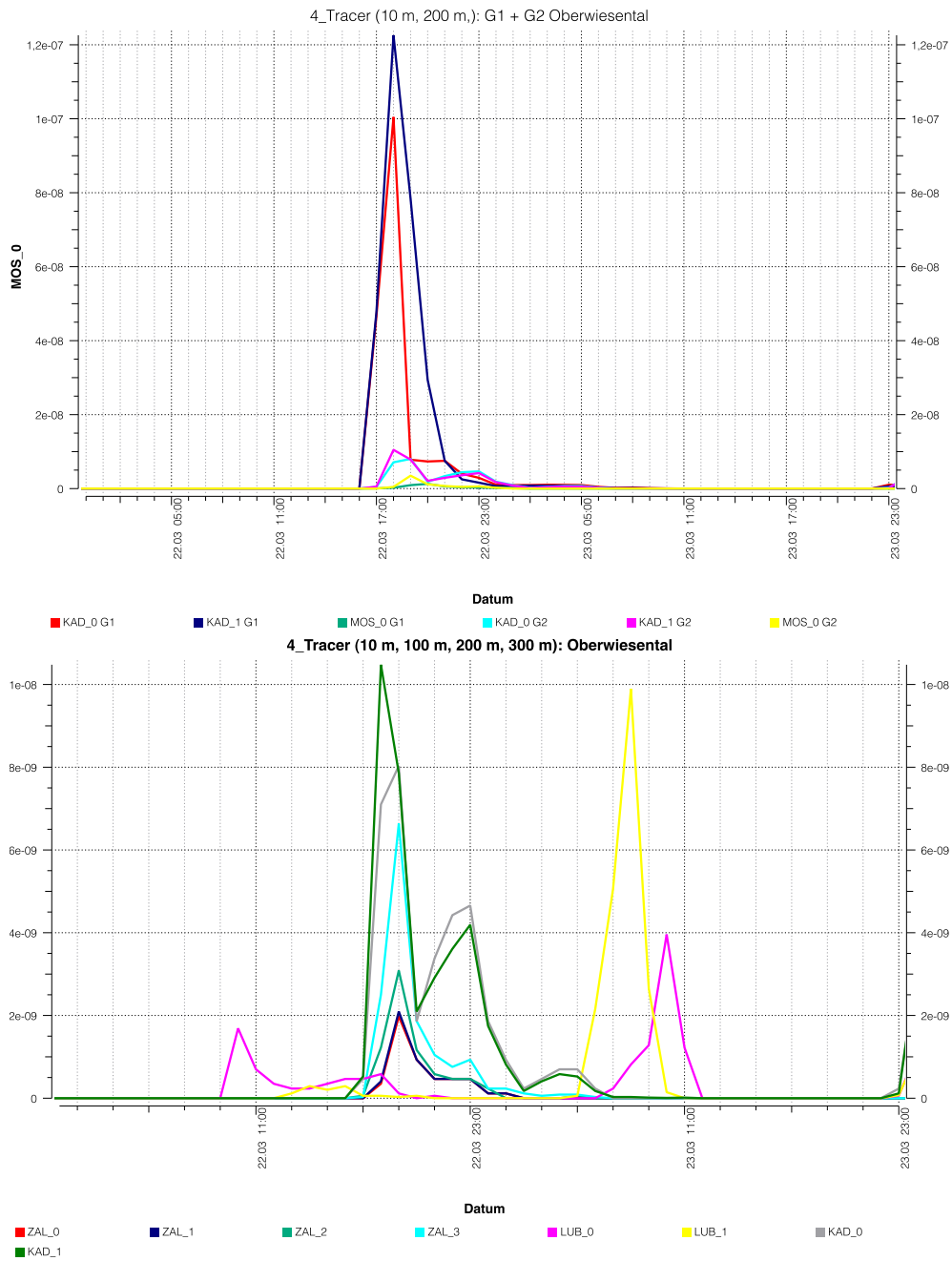


Abbildung 4.11: Source-Rezeptor-Analyse für Oberwiesenthal am 22. März 2010.

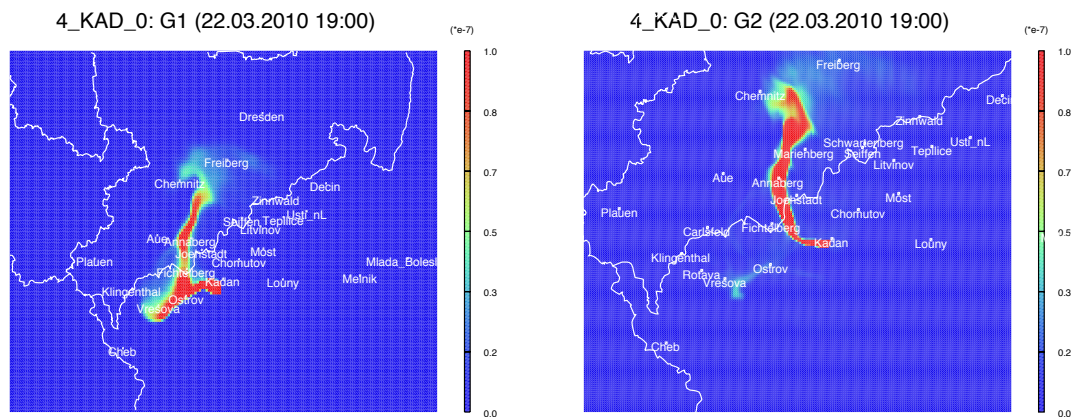


Abbildung 4.12: Vergleich der Modellergebnisse für G1- und G2-Simulationen am 22. März 2010.

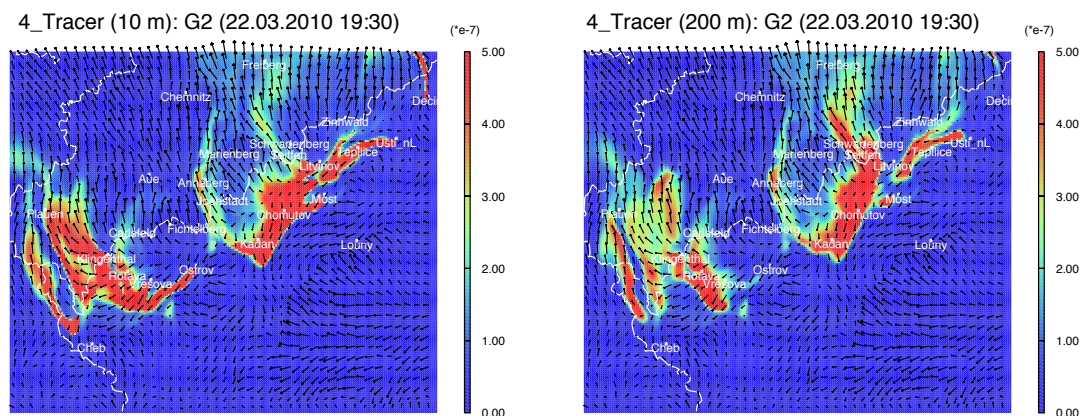


Abbildung 4.13: Sensitivität bezüglich der Emissionshöhe auf G2 für den 22. März 2010, 19:30 Uhr.

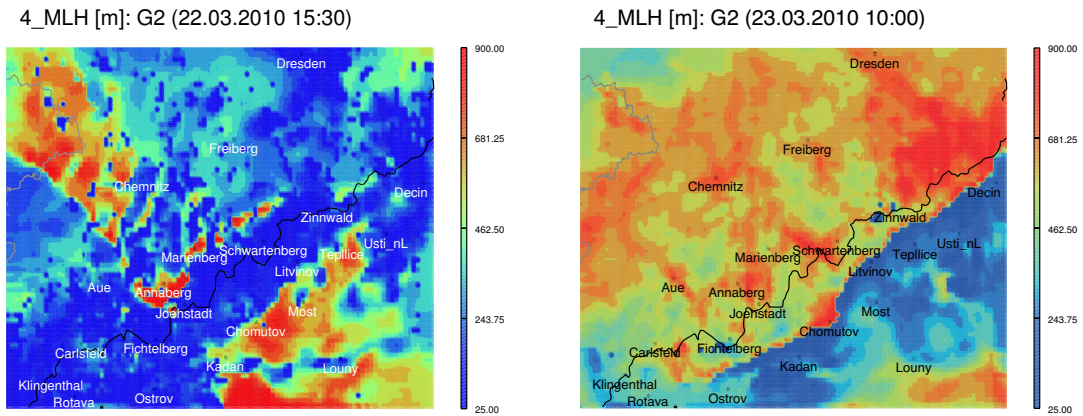


Abbildung 4.14: Modellerte Mischungsschichthöhe auf G2 für den 22. März (15.30 Uhr) und den 23. März 2010 (10:00 Uhr).

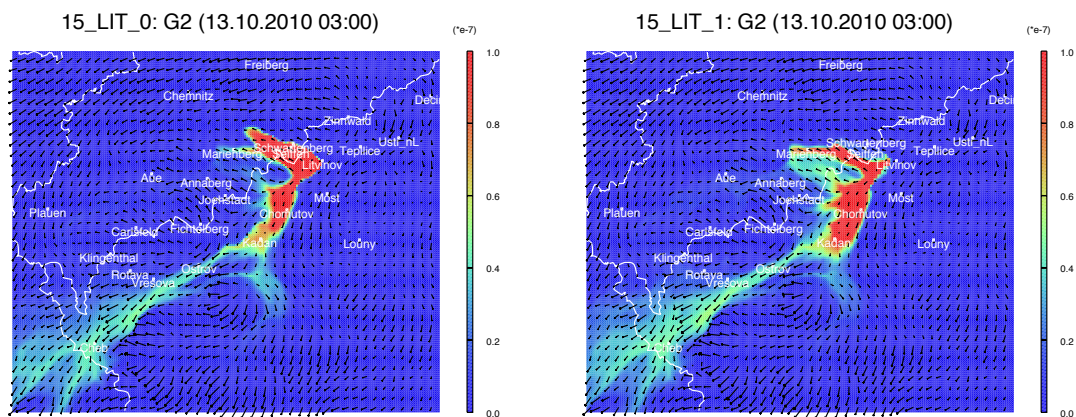


Abbildung 4.15: Sensitivität bezüglich der Emissionshöhe auf G2 für den 13. Oktober 2010 (3:00 Uhr): Bodenschicht (links), 200 m Höhe (rechts)

4.3 Havariefälle

Die Abbildung 4.16 zeigt sehr deutlich, dass die Abluftfahne von Vřesová die Orte mit Geruchsbeschwerden in der angegebenen Zeit erreicht. Zu sehen sind weiter die zeitlichen Unterschiede und die Belastung in Abhängigkeit von der Emissionshöhe. Letzteres wird ebenfalls in Abbildung 4.17 verdeutlicht. Insbesondere im westlichen Teil unterscheiden sich die Abluftfahnen erheblich. Sehr gut wird hier auch das Stauverhalten der Luftmassen am Erzgebirge (hier im Bereich des Fichtelbergs) deutlich. Während die Strömung westlich und östlich des Fichtelbergs über den Erzgebirgskamm hinweggeht, wird die Luft in der Mitte gestaut. Dabei wird eine scharfe Grenze sichtbar. Die Abbildung 4.18 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Strömungsverhältnisse. Tagsüber werden die Luftmassen mit einer westlichen Strömung entlang des Erzgebirges transportiert. Gegen Abend dreht der Wind nach Süden und die Luftmassen überströmen den Erzgebirgskamm. Die Strömungsmuster entsprechen der Analyse mithilfe des Trajektorienmodells im Unterabschnitt 3.3.1. Die Zeitreihendiagramme zur Source-Rezeptor-Analyse für die durch Havarien hervorgerufenen Geruchsereignisse 55 und 72 sind in den Abbildungen 4.19 und 4.20 dargestellt. In beiden Fällen können als Verursacher die Havarieorte nachgewiesen werden. Außerdem sind die Abhängigkeiten von der Emissionshöhe klar sichtbar. Dies wird ebenso wie die zeitliche Entwicklung noch einmal in den Abbildungen 4.21 und 4.22 gezeigt, in denen deutliche Unterschiede sichtbar sind.

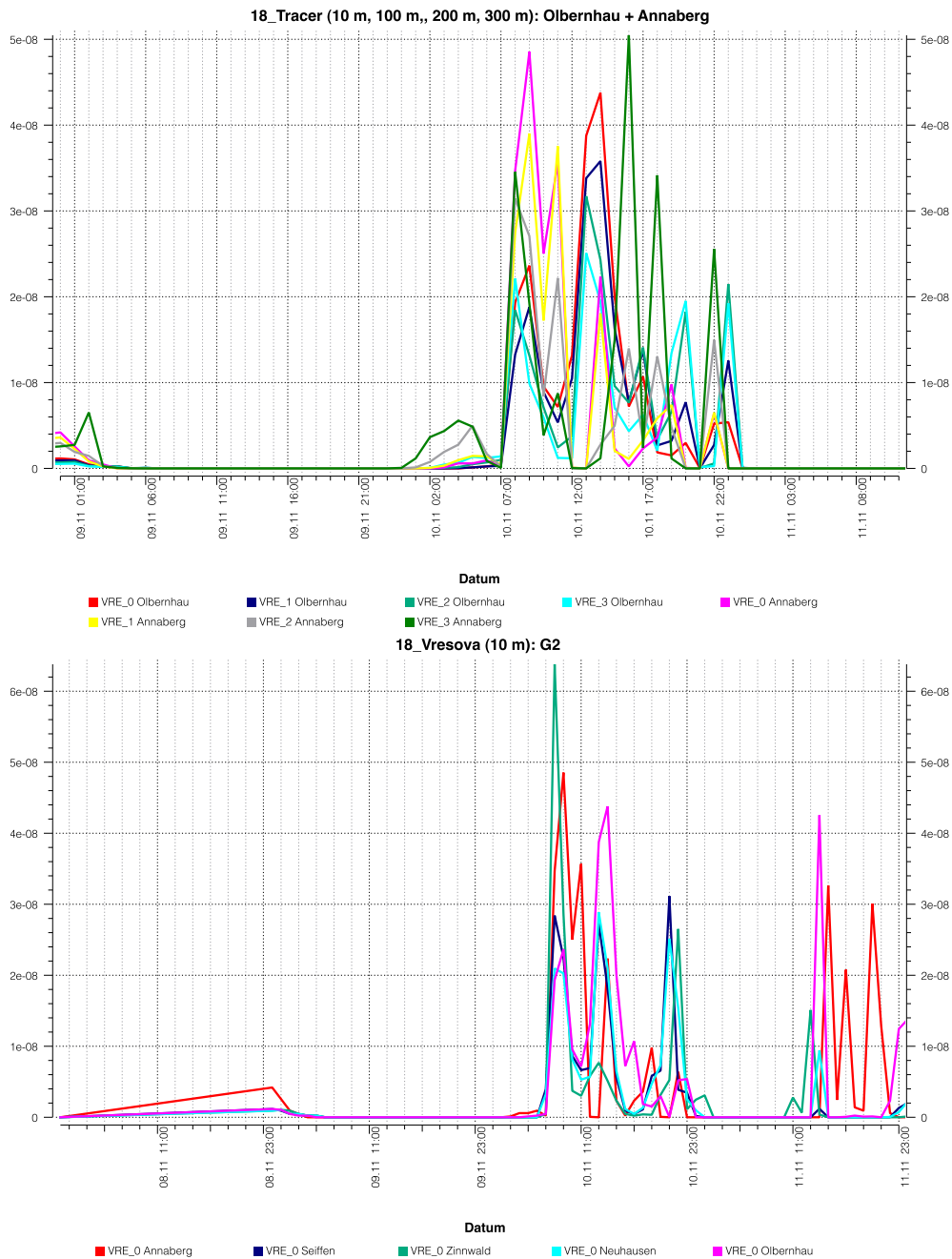


Abbildung 4.16: Source-Rezeptor-Analyse für die Havarie in Vresova am 11. Oktober 2010

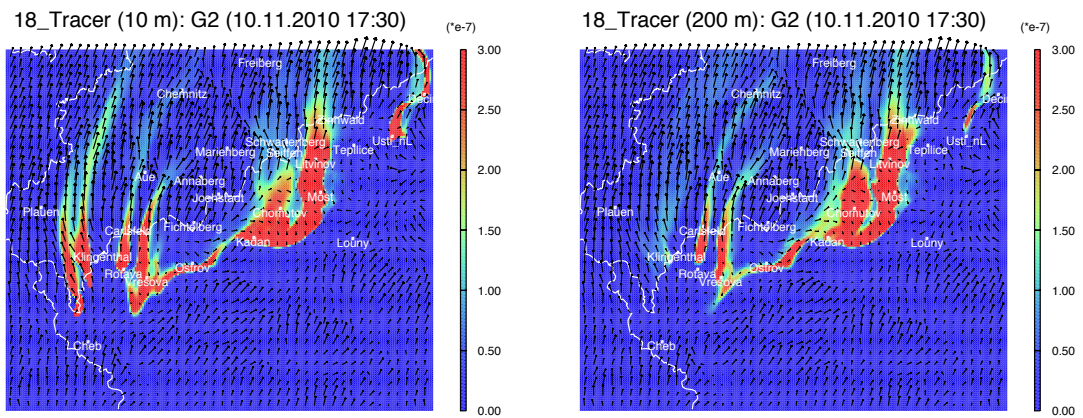


Abbildung 4.17: Ausbreitung der Tracer für verschiedene Emissionshöhen am 10. November 2010, 17:30 Uhr

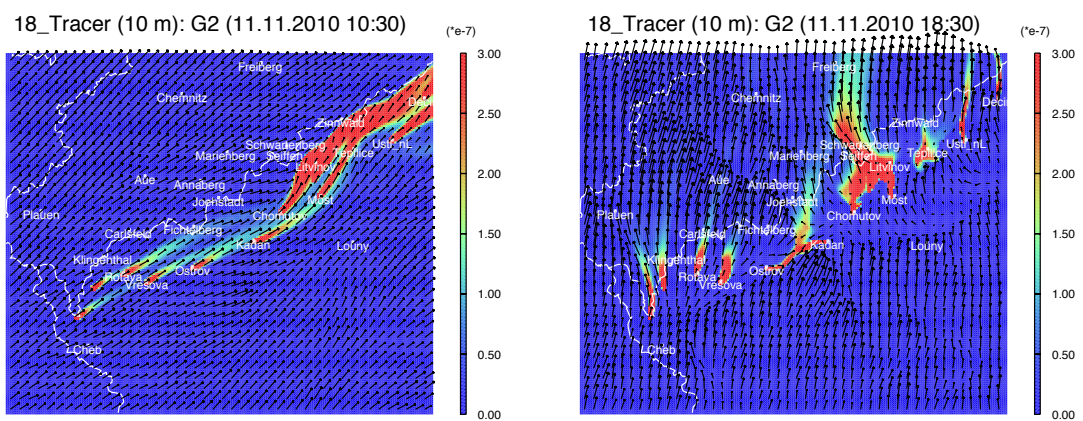


Abbildung 4.18: Zeitlicher Verlauf der Tracerausbreitung in der Bodenschicht am 10. November 2010

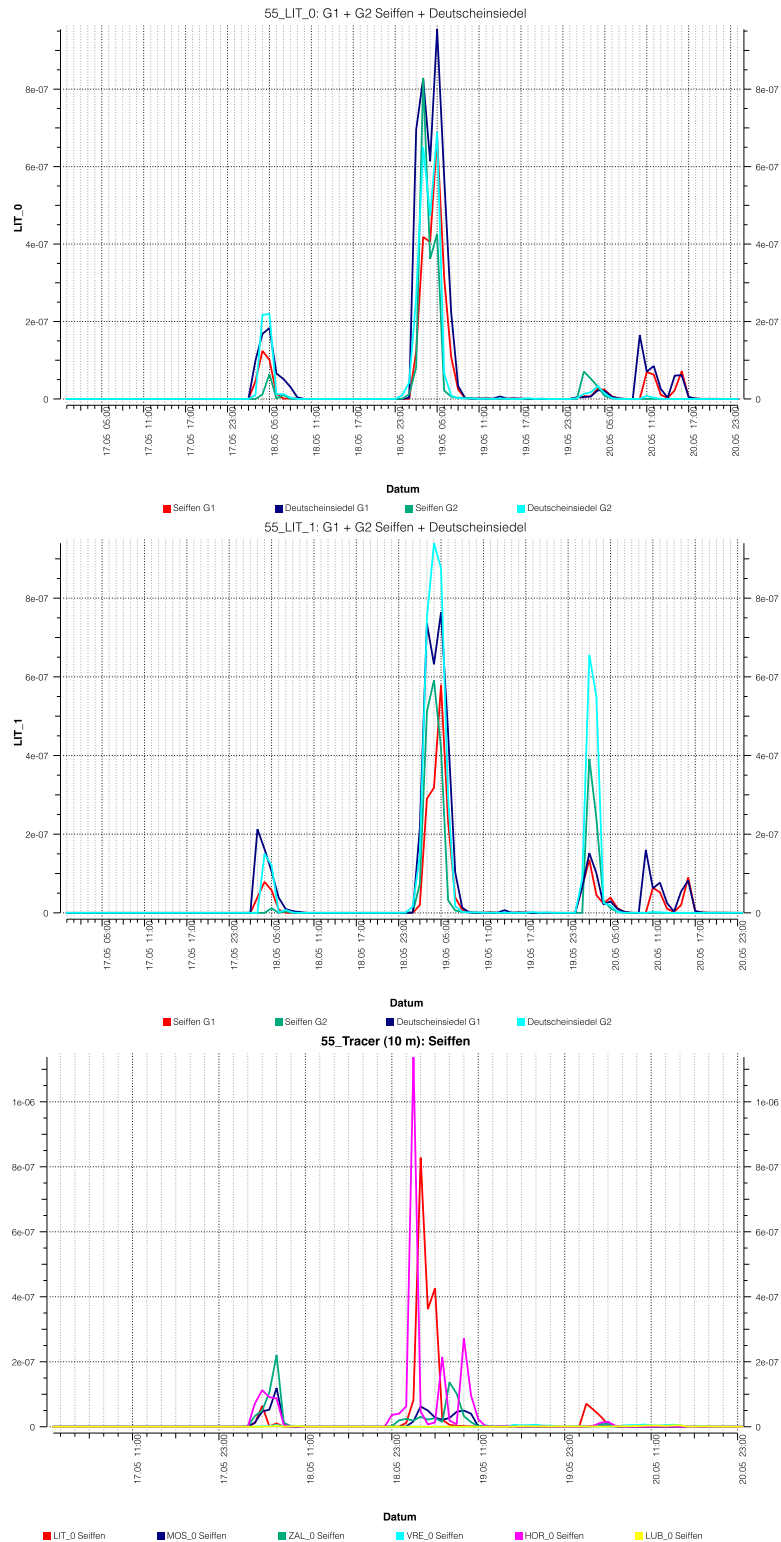


Abbildung 4.19: Vergleich der G1- und G2-Simulationen sowie Source-Rezeptor-Analyse in Seiffen für die Zeit vom 17.-20. Mai 2011.

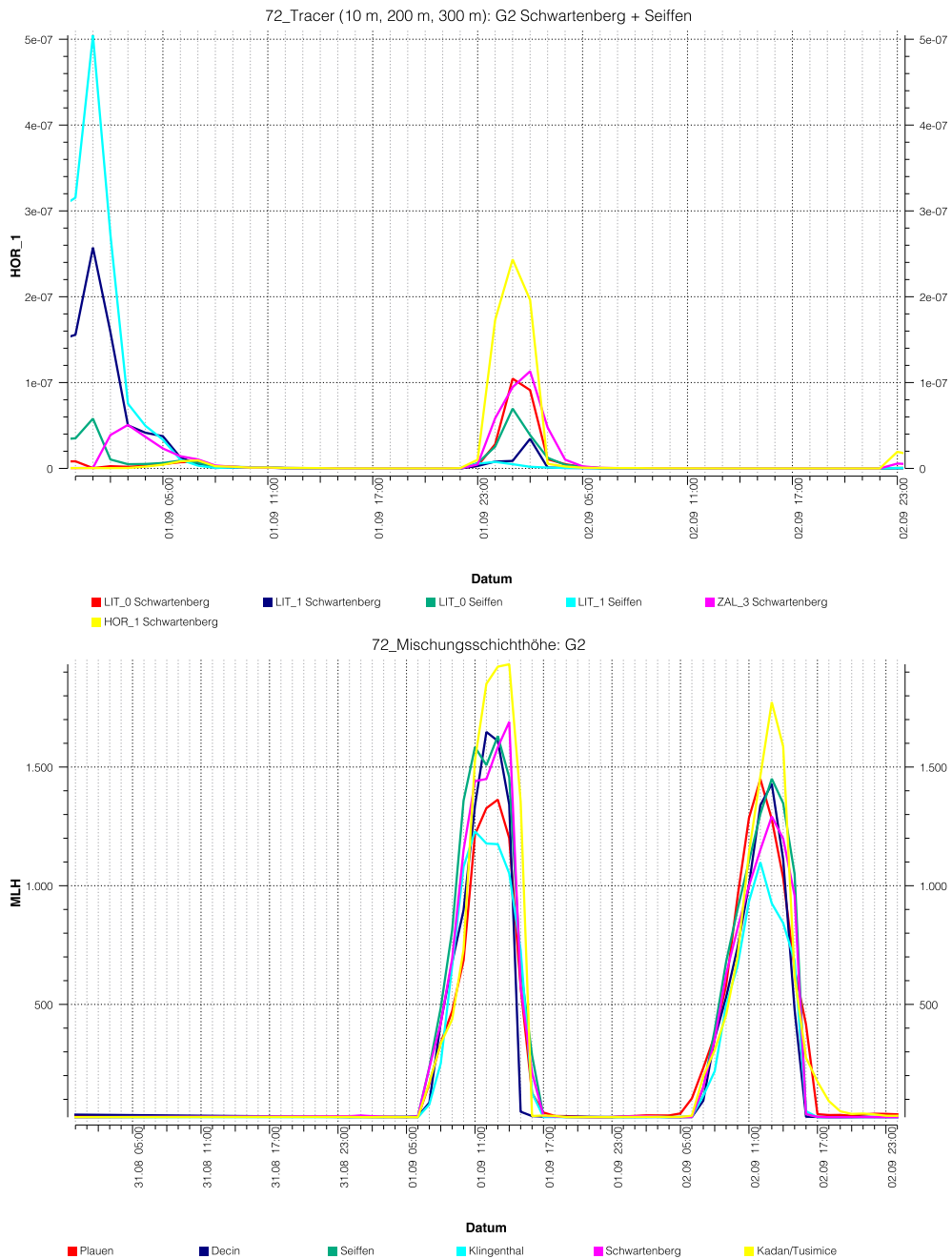


Abbildung 4.20: Source-Receptor-Analyse für Schwartenberg und Seiffen am 1./2. September 2011 (oben). Mischungsschichthöhen (unten).

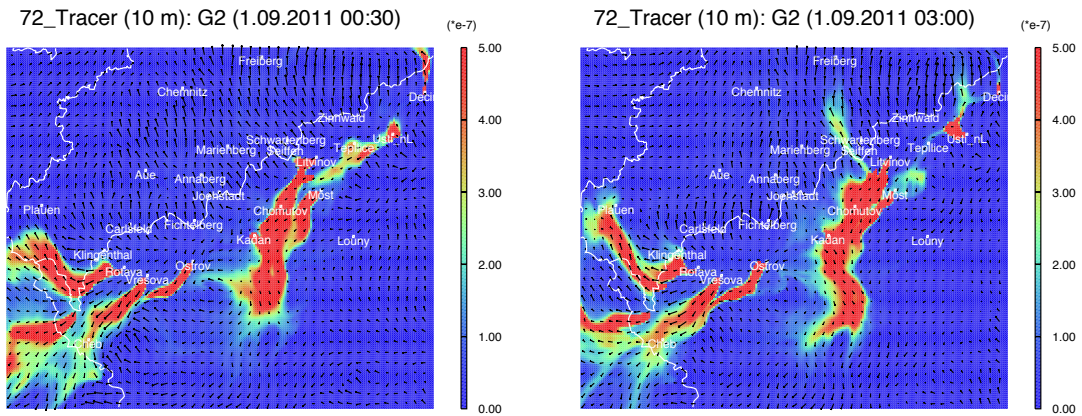


Abbildung 4.21: Ausbreitung der am Boden emittierten Tracer am 1. November 2011 um 0.30 Uhr und 3:00 Uhr.

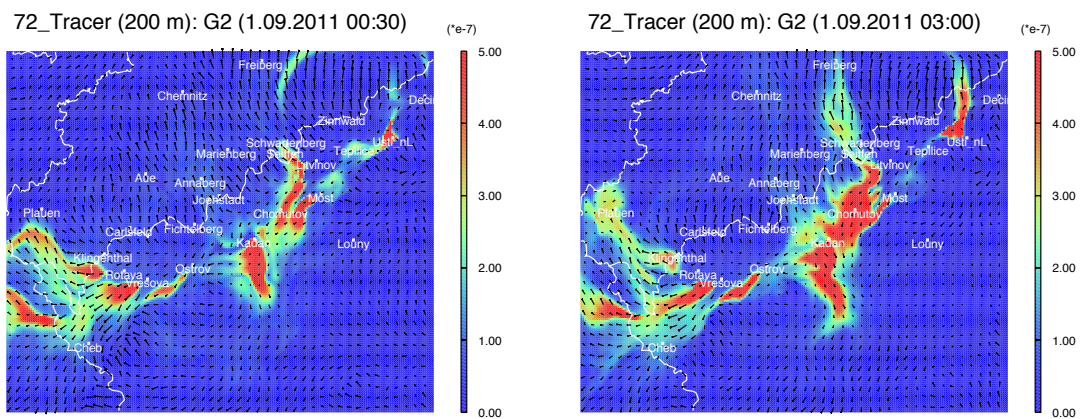


Abbildung 4.22: Ausbreitung der in 200 m Höhe emittierten Tracer am 1. November 2011 um 0:30 Uhr und 3:00 Uhr.

5 Diskussion und Ausblick

Mittels Trajektorienrechnungen lassen sich die Zugbahnen von Luftmassen relativ genau ermitteln. Für tiefgreifendere Analysen können Vorwärtstrajektorien von vermuteten Quellen berechnet werden. Zusätzlich dazu können mithilfe von passiven Tracern die Ausbreitung der Abluftfahnen aus den Industrieorten sichtbar gemacht werden. Mit diesen Möglichkeiten ist es für ausgewählte Fälle möglich, eine differenzierte Untersuchung bezüglich der Quellen von Luftschadstoffen durchzuführen. Dennoch ist nicht immer erreichbar, einen eindeutigen und einzigen Verursacher der Geruchsquellen zu identifizieren. Die modellierten Abluftfahnen hängen sowohl von der meteorologischen Situation (Wind, Inversionen) als auch stark von orographischen Besonderheiten ab. Problematisch sind besonders jene Wetterlagen mit schwachen südlichen Winden und Inversionen, bei denen sich die Luftmassen vor dem Erzgebirge im Nordböhmisches Becken stauen können. Beim Aufbrechen der Inversion oder Zunahme des Windes überfliegt der Emissionsmix den Erzgebirgskamm und führt zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen (und damit einhergehenden Geruchsbelastungen) im Erzgebirgsraum und Vogtland. Um die Charakteristiken ähnlicher Ereignisse zu erfassen, wurde neben einer Kategorisierung der Falltypen nach der vorherrschenden Windrichtung auch eine statistische Analyse durchgeführt. Von den drei Industriegebieten Vřesová, Kadaň und Litvínov haben die Luftmassen am häufigsten den Großraum Litvínov passiert ($> 67\%$). Weiterhin ließ sich belegen, dass besonders bei Schachwindlagen Geruchsereignisse eintreten. So hat die mittlere Windstärke in über 87% der Fälle einen Wert von 3 auf der Beaufort-Skala nicht überschritten.

Dem eher rückläufigen Trend an Beschwerdemeldungen steht das Jahr 2011 mit einer überdurchschnittlich hohen Anzahl an Geruchsbeschwerden gegenüber. So muss weiterhin auch in den kommenden Jahren mit Geruchsbelastungen in der Erzgebirgs- und Vogtlandregion gerechnet werden. Neben der Modellierung wurden Messungen und Geruchsprobenentnahmen im Oktober und November 2011 durchgeführt, um weiteren Aufschluss über die Zusammensetzung der belasteten Luft zu geben. In diesem Zusammenhang wurden auch für diesen Zeitraum mit einem Leichtflugzeug im grenznahen Raum Messflüge durchgeführt und Partikelprofile aufgenommen.

A Übersichtstabelle der Beschwerdefälle

Alle gemeldeten und analysierten Beschwerdefälle sind in der folgenden Übersichtstabelle A.1 dargestellt. Enthalten sind die Fallnummer, das Datum, der Zeitraum und die Orte, in denen die Geruchsbelastung stattfand sowie die zugeordnete Kategorie und die Ergebnisse der statistischen Analyse.

Tabelle A.1: Übersicht der gemeldeten Beschwerdefälle für 2010 und 2011 im Erzgebirgs- und Vogtlandkreis inklusive statistischer Auswertung. Die mit einem Stern gekennzeichneten Daten stellen Havariefälle dar. Städttekürzel („Ort“) siehe Abkürzungsverzeichnis. „Anz.“: Anzahl der Trajektorien; „V_hit“: Anzahl der „Treffer“ für die Region Vřesová; „V_min“: minimaler Abstand zu Vřesová in km; „K_hit“ und „K_min“: wie 8. und 9. Spalte, für Kadaň; „L_hit“ und „L_min“: wie 8. und 9. Spalte, für Litvínov; „Wind“: mittlere Windgeschwindigkeit entlang der Trajektorien in m s^{-1} .

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
1	05.01.10	Vormittag	Zinnwald	SW	ZIN	6	0	16.14	0	10.19	471	2.71	1.57
2	06.01.10	Vormittag	Johanngeorgenstadt	SO	JGS	6	119	6.96	79	7.97	0	22.05	1.32
3	20.01.10	Vormittag	Marienberg, Růbenau, Reitzenhain, Kühnheide, Geringswalde, Pobershau	SO	MAB	6	0	29.27	0	14.47	205	0.65	1.93
4	22.03.10	ca. 21–22 Uhr	Oberwiesenthal, Hammer- unterwiesenthal, Neudorf	SO	RUE	6	0	38.42	0	18.00	238	0.56	1.74
					REI	6	0	34.58	0	13.56	237	0.57	1.73
					OTL	3	0	21.21	295	4.08	0	29.05	1.04
5	26.03.10	ca. 09–14 Uhr	Seiffen, Olbernhau, Neu- hausen	SO	SEI	5	0	61.16	0	22.11	325	1.25	1.54
6	23.04.10	ca. 03:30–07 Uhr	Neuwernsdorf	SO	OLB	5	0	57.11	0	18.84	313	1.58	1.12
7	06./07.06.10	Nachtstunden	Jöhstadt	DIFF	NWD	4	0	63.88	0	24.97	322	2.97	1.20
8	05.08.10	ab Vormittag	Seiffen	SO	JOE	4	0	12.14	19	1.12	45	0.38	6.30
9	23.09.10	Vormittag	Seiffen, Neuhausen	SO	SEI	14	0	60.22	0	27.59	363	0.11	3.37
10	23.09.10	k.A.	Seiffen, Neuhausen	SO	SEI	6	0	66.99	0	27.56	833	2.04	0.71
11	02./03.10.10	Mitternacht	Schöneck	SO	SCH	16	297	0.47	89	0.14	0	25.56	2.56
12	04.10.10	Abend	Zwotha, Klingenthal, Plau- en	SO	ZWO	4	66	3.08	96	6.53	66	2.08	2.70
					OLI	4	59	4.16	97	6.50	74	0.41	2.68
					PLA	4	74	0.26	91	7.18	13	3.04	3.27
					AUB	6	0	29.43	54	4.37	0	10.86	9.00
13	05.10.10	ca. 07–09 Uhr	Auerbach, Rautenkranz	SO	ZWO	4	59	1.26	52	3.75	58	0.35	5.30
14	05.10.10	ca. 12–14 Uhr	Auerbach	SO	AUB	5	100	1.88	74	3.68	0	13.63	5.21
15	13.10.10	Vormittag	Seiffen, Neuhausen	SO	SEI	6	0	67.85	0	30.91	210	1.34	1.71
16	19.10.10	ca. 07–11 Uhr	Crottendorf, Seiffen	SW	SEI	6	65	0.67	0	15.04	0	13.22	6.82
17	02.11.10	k.A.	Bad Brambach	DIFF	CRO	6	57	5.77	0	27.49	0	48.16	7.06
					BAD	16	0	28.29	0	70.47	0	101.56	4.11
18	09.11.10	ganztägig	Olbernhau, Arnsfeld, Jöhstadt	DIFF	OLB	16	80	6.79	49	6.81	266	1.34	1.98

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
19	10.11.10*	Mittag bis Abend	Neuwerndorf, Olbernhau, Marienberg, Annaberg, Jöhstadt, Seiffen, Crottendorf, Aue (Auswahl)	SW	JOE	16	105	6.82	150	5.49	95	0.49	2.55
					NWD	12	84	1.51	5	9.74	384	0.52	2.46
					OLB	12	117	2.21	20	7.65	57	6.09	3.46
					MAB	12	168	0.52	14	7.66	0	33.56	3.92
					ANA	12	182	3.17	0	26.88	0	43.90	4.19
					JOE	12	215	0.97	0	16.92	0	38.76	3.84
					SEI	12	82	1.98	0	10.94	157	1.85	2.64
					CRO	12	182	3.69	0	27.48	0	48.16	4.03
					AUE	12	20	8.92	0	44.91	0	64.95	4.40
					OLB	6	13	4.84	54	2.32	0	19.52	7.23
20	11.11.10	Nachmittag	Olbernhau, Jöhstadt, Annaberg, Königswalde, Oberwiesenthal, Sehmatal	SW	JOE	6	49	0.25	0	12.07	0	38.76	7.58
					ANA	6	48	0.46	0	24.98	0	43.90	8.05
					OTL	6	68	0.51	0	21.72	0	50.13	7.53
					CRO	12	311	4.02	0	26.66	0	48.16	4.68
21	14.11.10	Vor- bis Nachmittag	Scheibenberg, Markersbach, Crottendorf	SW	JOE	6	49	0.25	0	12.07	0	38.76	7.58
					ANA	6	48	0.46	0	24.98	0	43.90	8.05
22	18.11.10	Vormittag	Seiffen	SO	SEI	6	0	55.30	0	29.65	138	1.60	1.99
23	20.11.10	ca. 05–10 Uhr	Zinnwald	SW	OTL	6	57	3.05	0	21.72	0	50.13	3.29
24	25.11.10	Vormittag	Oberwiesenthal	W	SCH	6	102	0.46	0	21.07	0	52.33	3.15
25	06.12.10	Vormittag	Schöneck, Klingenthal	DIFF	KLI	6	174	3.10	0	10.52	0	41.23	2.97
26	23.12.10	Nachmittag	Bad Brambach	O	BAD	6	80	0.21	161	0.13	45	6.66	2.90
27	04./05.01.11	ab 17:30 Uhr	Neuwerndorf, Seiffen, Olbernhau	SO	NWD	7	0	65.96	0	26.11	826	1.79	1.11
					SEI	7	0	61.28	0	21.95	230	5.84	1.20
					OLB	7	0	55.29	0	17.64	13	9.17	1.20
28	05.01.11	ca. 11–15 Uhr	Scheibenberg	SW	SBB	5	241	2.42	0	28.05	0	50.59	3.07
29	06.01.11	ca. 09–20:30 Uhr	Crottendorf, Geyer	SW	CRO	14	217	0.75	0	22.33	0	48.16	4.79
30	11.01.11	Morgen–Mittag	Deutscheinsiedel	SO	DEI	6	0	65.81	0	26.39	800	1.75	0.59
31	11.01.11	ca. 19:30–21 Uhr	Crottendorf	SW	CRO	2	37	3.86	0	27.49	0	48.16	6.16
32	17.01.11	Vormittag	Seiffen	SW	SEI	6	7	9.52	0	11.34	0	11.21	2.36
33	17.01.11	ca. 07–09 Uhr	Deutscheinsiedel	SO	DEI	4	7	9.52	0	15.43	10	9.58	2.66
34	31.01.11	ca. 10–13 Uhr	Pockau	SO	POC	6	0	37.17	303	7.96	92	4.94	1.51
35	01.02.11	Vormittag	Deutscheinsiedel	SW	DEI	6	31	6.04	204	6.24	54	8.81	1.38
36	09.02.11	ca. 08–09 Uhr	Deutscheinsiedel, Seiffen	W	SEI	3	0	18.82	0	23.80	0	13.22	2.68
37	10.02.11	Morgen–Nachmittag	Seiffen	SW	SEI	12	21	7.52	222	6.31	5	9.76	2.66
38	14.02.11	Vormittag	Markneukirchen	SO	MNK	6	82	0.65	98	4.38	179	1.15	3.42
39	15.02.11	ganztägig	Seiffen	SO	SEI	12	0	67.85	0	30.59	742	0.77	1.43

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
40	16.02.11	ganztägig	Seiffen	SO	SEI	12	0	67.85	0	30.59	742	0.77	1.43
41	07.03.11	ca. 14–18 Uhr	Klingenthal	O	KLI	4	55	1.17	90	2.24	0	16.68	2.66
42	08.03.11	Vormittag	Seiffen	SO	SEI	6	0	67.44	0	27.78	840	1.16	0.62
43	11.03.11	Abend	Plauen	SW	PLA	6	0	38.34	0	77.21	0	104.66	4.77
44	12.03.11	ca. 06–09:30 Uhr	Seiffen	DIFF	SEI	4	0	15.53	0	16.64	395	2.33	1.90
45	13.03.11	ca. 02:30–17:30 Uhr	Seiffen	DIFF	SEI	16	0	19.24	73	6.58	613	2.25	1.16
46	13.03.11	ca. 14–17 Uhr	Zwota	O	ZWO	3	69	2.25	132	2.72	0	29.28	1.85
47	14.03.11	ca. 01:30–03 Uhr	Seiffen	SO/SW	SEI	3	0	18.78	18	8.88	69	3.56	1.37
48	14.03.11	Morgen	Bad Brambach, Raun, Gürth	S/W	BAD	6	0	28.29	0	70.47	0	102.00	2.16
49	27.03.11	ganztägig	Seiffen	SO	SEI	16	0	57.96	0	19.26	752	0.65	1.05
50	17.04.11	gegen Mitternacht	Seiffen	SO	SEI	4	0	67.85	0	31.88	96	4.97	1.69
51	19.04.11	Vormittag	Seiffen	SO	SEI	6	0	67.85	0	30.84	171	0.51	1.89
52	30.04.11	k.A.	Seiffen	NO	SEI	16	0	67.85	0	32.60	17	5.34	6.78
53	09.05.11	k.A.	Seiffen	SO	SEI	16	0	67.85	0	31.10	140	0.34	4.09
54	10.05.11	k.A.	Seiffen	SO	SEI	12	0	67.73	0	29.65	543	0.16	1.70
55	18./19.05.11*	ca. 20–12 Uhr	Seiffen	DIFF	SEI	16	52	1.61	54	5.72	417	0.70	2.08
56	26.05.11	ab 08 Uhr	Seiffen	DIFF	SEI	12	0	24.07	14	6.90	301	0.58	3.81
57	30.05.11	ab 08 Uhr	Seiffen, Neuhausen	SO	SEI	12	0	67.48	0	26.97	340	0.17	5.84
58	31.05.11	08 Uhr	Seiffen	SO	SEI	2	0	67.85	0	30.50	95	0.29	1.19
59	29.06.11	k.A.	Zinnwald	DIFF	ZIN	12	0	73.55	0	31.62	328	5.25	1.67
60	12.07.11	08 Uhr	Seiffen	SO	SEI	12	0	56.10	0	17.34	377	0.58	3.67
61	14.07.11	ab 20 Uhr	Seiffen	SW	SEI	6	39	6.83	0	18.36	0	13.22	7.02
62	25.07.11	früh	Seiffen	SW	SEI	6	0	12.30	0	25.03	0	13.22	4.20
63	26.07.11	Vormittag	Neuhausen	SO	SEI	6	0	39.38	31	3.98	590	1.22	0.93
64	02.08.11	Nachmittag	Schwartenberg, Neuhausen, Seiffen	SO	SEI	6	0	67.85	0	30.93	159	0.57	2.93
65	03.08.11	Abend	Seiffen	SO	SEI	6	0	47.79	10	8.92	204	2.05	2.64
66	05.08.11	nachts	Seiffen	SW	SEI	6	54	4.88	91	4.60	324	2.83	1.96
67	06.08.11	früh, Vormittag	Seiffen	SO	SEI	8	0	61.09	0	22.07	788	0.42	1.04
68	13.08.11	gegen 01 Uhr	Seiffen	W	SEI	2	0	14.96	0	23.72	0	13.22	5.20
69	14.08.11	05 Uhr	Seiffen	SW	SEI	2	49	7.34	15	8.73	0	11.72	2.77
70	18.08.11	08 Uhr	Seiffen	SO	SEI	2	0	67.85	0	29.79	275	3.52	0.85
71	21.08.11	04:30 Uhr	Seiffen	SO	SEI	3	0	65.11	0	26.10	172	2.98	1.64
72	01.09.11*	03:30 Uhr	Seiffen	SO	SEI	3	0	67.49	0	29.63	333	3.29	1.10
73	05.09.11	k.A.	Erlbach	W									
74	06.09.11	ca. 14–15 Uhr	Seiffen	SW									
75	08.09.11	früh	Olbernhau	W									
76	11.09.11	ab 08 Uhr	Seiffen	SO									
77	16.09.11	Mittag	Seiffen	SO	SEI	4	0	22.80	0	18.36	63	5.50	1.24
78	17.09.11	Mittag	Seiffen	DIFF	SEI	4	0	63.43	0	23.71	574	0.15	0.81
79	18.09.11	früh	Seiffen	SO	SEI	6	0	18.59	42	6.28	147	1.80	1.96

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
80	29.09.11	k.A.	Schwartenberg	DIFF	SWB	16	0	51.00	6	9.82	505	3.32	1.15
81	14.10.11	k.A.	Seiffen										
82	15.10.11	k.A.	Seiffen										
83	16.10.11	k.A.	Seiffen										
84	17.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen										
85	18.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Haselbach										
86	22.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Olbernhau, Haselbach										
87	23.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Olbernhau, Neuhausen, Haselbach										
88	24.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Olbernhau, Neuhausen, Pobershau, Haselbach	SO	SEI	18	0	67.85	0	31.22	77	0.11	8.22
89	26.10.11	ca. 6–13 Uhr	Zwota, Bösenbrunn, OT Schönbrunn	DIFF	OLB ZWO	18 7	0 75	62.71 0.22	0 43	26.46 6.55	84 72	0.13 0.61	8.46 3.55
90	26.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Pobershau, Olbernhau, Haselbach	SO	SEI	18	15	7.80	10	6.89	394	0.25	2.24
91	27.10.11	ca. 20–23 Uhr	Zwota, Markneukirchen, Bad Brambach, Bösenbrunn, OT Schönbrunn	SO	OLB ZWO	18 3	45 63	1.66 1.13	9 3	6.78 9.79	174 0	0.74 44.25	2.64 4.96
92	28.10.11	ca. 9–11 Uhr	Jöhstadt, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Pobershau, Olbernhau, Seiffen, Haselbach	SW	MNK BAD JOE	3 3 2	58 40 105	3.62 5.19 3.46	0 0 2	11.55 30.31 9.94	0 0 0	45.87 63.91 38.25	5.12 4.99 1.89
93	29.10.11	ca. 12–24 Uhr	Klingenthal, Bad Brambach, Bösenbrunn, OT Schönbrunn, Markneukirchen, Plauen	SO	OLB SEI KLI	2 2 12	12 0 135	9.12 10.55 2.41	87 51 155	6.60 7.89 2.00	0 41 0	20.20 6.77 22.39	1.92 2.06 1.89
94	29.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Pobershau, Olbernhau, Haselbach	SO	BAD MNK PLA SEI	12 12 12 12	94 147 164 0	1.14 0.13 0.62 55.72	67 155 57 0	3.19 0.35 3.03 17.45	0 0 0 288	25.08 22.79 25.38 2.09	2.45 2.18 2.80 1.39

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
95	30.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Pobershau, Olbernhau, Haselbach	SW	OLB	12	0	42.02	32	8.28	28	9.13	1.62
					SEI	18	0	11.20	170	6.86	2	9.96	2.26
96	30.10.11	0 Uhr, 8–11 Uhr	Klingenthal, Bad Brambach, Bösenbrunn, OT Schönbrunn, Markneukirchen, Zwota, Plauen	DIFF	OLB	18	28	8.67	0	10.40	0	20.79	2.48
					KLI	10	47	5.58	19	5.95	0	33.37	2.76
97	31.10.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Marienberg, Olbernhau, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Neuwernsdorf, Pobershau, Haselbach	SO	BAD	10	0	27.63	0	69.90	0	101.92	3.61
					MNK	10	41	0.44	8	6.76	0	35.73	3.02
					ZWO	10	47	1.81	13	6.11	0	34.12	2.85
					PLA	10	18	1.07	3	8.77	0	38.81	3.80
					SEI	18	0	28.22	0	10.05	513	0.16	1.20
98	01.11.11	früh, abends/nachts	Seiffen, Marienberg, Olbernhau, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Annaberg, Neuwernsdorf, Pobershau, Haselbach	DIFF	MAB	18	0	20.90	153	5.47	268	1.87	1.45
					OLB	18	0	24.41	10	9.31	373	2.05	1.26
					SEI	18	0	55.68	0	16.94	544	0.22	2.10
99	01.11.11	ca. 8–13 Uhr	Zwota, Klingenthal, Forstwinkel, Bad Brambach, Markneukirchen, Plauen	DIFF	MAB	18	0	17.54	87	5.48	0	15.65	3.01
					OLB	18	0	37.87	75	6.63	16	8.01	2.63
					ANA	18	63	0.60	131	0.47	0	18.94	3.08
					ZWO	5	44	2.52	40	3.19	0	23.81	3.75
					KLI	5	60	0.91	41	3.35	0	23.44	3.71
100	02.11.11	ganztägig	Seiffen, Neuhausen, Olbernhau, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel, Annaberg, Neuwernsdorf, Pobershau, Haselbach	SO	BAD	5	0	26.36	0	61.83	0	82.12	4.47
					MNK	5	14	5.66	19	2.38	0	25.98	4.30
					PLA	5	0	26.08	0	53.86	0	75.91	5.33
					SEI	18	0	56.34	0	17.79	658	0.98	2.07
					OLB	18	0	40.51	47	6.88	118	4.98	1.85
ANA	18	61	5.15	217	1.61	0	12.79	2.70					

Nr.	Datum	Zeitraum	Orte m. Geruchsbelastung	Kat.	Ort	Anz.	V_hit	V_min	K_hit	K_min	L_hit	L_min	Wind
101	02.11.11	7-11 Uhr, 19-22 Uhr	Zwota, Klingenthal, Markneukirchen, Bad Braubach, Bösenbrunn, OT Schönbrunn	DIFF	ZWO	15	64	0.62	48	0.56	0	34.06	2.83
					KLI	15	63	0.55	48	0.42	0	33.63	2.78
					MNK	15	49	4.23	0	35.39	0	69.36	3.19
					BAD	15	0	25.59	0	63.13	0	95.03	3.57

Abkürzungsverzeichnis

ASCII American Standard Code for Information Interchange

COSMO Consortium for Small-Scale Modelling

DWD Deutscher Wetterdienst

G1 „grobes“ Modellgebiet mit 2,8 km horizontaler Auflösung

G2 „feines“ Modellgebiet mit 1,1 km horizontaler Auflösung

GIRL Geruchsimmissions-Richtlinie

GIS Geographical Information System

GRASS Geographic Resources Analysis Support System

IFT Leibniz-Institut für Troposphärenforschung

MLH *Mixed Layer Height*, Mischungsschichthöhe

MUSCAT Multi-Scale Atmospheric Transport Model

TRAJEK Name des Trajektorienmodells

Städtekürzel Erzgebirge

ANA Annaberg-Buchholz

AUE Aue

CRO Crottendorf

DEI Deutscheinsiedel

FIC Fichtelberg

JOE Jöhstadt

JGS Johanngeorgenstadt

MAB Marienberg

NWD Neuwernsdorf

OTL Oberwiesenthal

OLB Olbernhau

POC Pockau

RUE Rübenu

REI Reitzenhain

SBB Scheibenberg

SWB Schwartenberg

SEI Seiffen

ZIN Zinnwald

Städtekürzel Vogtland

AUB Auerbach

BAD Bad Brambach

KLI Klingenthal

MNK Markneukirchen

PLA Plauen

SCH Schöneck

ZWO Zwota

Städtekürzel Tschechien

CHO Chomutov

DEC Děčín

HOR Horní Jiřetín

KAD Kadaň

LIT Litvínov

LUB Lubi

MEL Mělník

MLB Mladá Boleslav

MOS Most

OST Ostrov

ROT Rotava

UST Ústí nad Labem

VOJ Vojtanov

VRE Vřesová

ZAL Záluží u Litvínova

Höhenschichten für Tracersimulationen

_0 Bodenschicht, 10 Meter

_1 100-Meter-Schicht

_2 200-Meter-Schicht

_3 300-Meter-Schicht

Literaturverzeichnis

- [CORINAIR] (CO-ordinated INformation on the Environment in the European Community – AIR). Web-Adresse: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR3/en>. (Stand: 22.11.11)
- [Fath 2002] Fath, J., 2002. Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, persönliche Mitteilung.
- [GRASS 2008] GRASS Development Team, 2008. *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software. Open Source Geospatial Foundation Project*. <http://grass.osgeo.org> (Stand: 22.11.11)
- [Hinneburg et al. 2009] Hinneburg, D., Renner, E., Wolke, R., 2009. Formation of secondary inorganic aerosols by power plant emissions exhausted through cooling towers in Saxony. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 25–35.
- [Knoth und Wolke 1998] Knoth, O. und Wolke, R., 1998. An explicit-implicit numerical approach for atmospheric chemistry-transport modelling. *Atmospheric Environment*, 32, 1785–1797.
- [Renner und Wolke 2010] Modelling the formation and atmospheric transport of secondary inorganic aerosols with special attention to regions with high ammonia emissions. *Atmos. Environ.* 44(15): 1904-1912.

- [Schättler et al. 2008] Schättler, U., G. Doms und C. Schraff, 2008. *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part VII: User's Guide. Documentation, Consortium for Small-Scale Modelling.* 1–28.
- [SMUL] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: *Geruchsbelastung im Erzgebirge und Vogtland.* <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/3647.htm> (Stand: 22.11.11)
- [Steppeler et al. 2003] Steppeler, J., G. Doms, U. Schättler, H.W. Bitzer, A. Gassmann, U. Damrath and G. Gregoric, 2003. Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 82, 75–96.
- [Stern et al. 2008] 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 intercomparison study focussing on episodes with elevated PM10 concentrations. *Atmospheric Environment* 42, 4567–4588.
- [Stockwell et al. 1997] Stockwell, W. R., Kirchner, F., Kuhn, M., Seefeld, S., 1997. A new mechanism for regional atmospheric chemistry modeling. *J. Geophys. Res.*, 102, 25847–25879.