

## **Abschlussbericht zum Projekt**

**Untersuchung des Transports von Luftschadstoffen und  
Geruchsstoffen im deutsch-tschechischen Grenzgebiet  
mittels Trajektorien im Winterhalbjahr 2001/02**

**Eberhard Reimer**

**Freie Universität Berlin  
Institut für Meteorologie  
Januar 2003**

<b>1. Einleitung</b>	
<b>2. Datenbasis für das Analysenmodell</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Modellgebiet</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Datenaufbereitung</b>	<b>5</b>
2.2.1 Geophysikalische Daten	5
2.2.2 Meteorologische Daten	6
2.2.3 Immissionsdaten	6
<b>3. Dreidimensionale meteorologische Analyse</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Grundlegender Ablauf</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Numerische Analyse</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Adaptation an die feine Auflösung</b>	<b>9</b>
<b>3.4 Grenzschichtparameter</b>	<b>9</b>
<b>3.5 Ausgabe</b>	<b>10</b>
<b>4. Trajektorienberechnung</b>	<b>11</b>
<b>5. Untersuchungen</b>	<b>12</b>
<b>5.1 Zeitreihen</b>	<b>12</b>
5.1.1 Geruchsmeldungen	13
5.1.2 SO <sub>2</sub> -und Benzol	13
5.1.3 Meteorologische Messungen	13
<b>5.2 Parametervergleich</b>	<b>14</b>
<b>5.3 Trajektorien</b>	<b>14</b>
5.3.1 Rasterzuordnung zu den Stationen und Regionen	15
5.3.2 Zuordnung der Immissionskonzentrationen	15
5.3.3 Auswertung der Rasterdaten	16
5.3.4 Auswertung der Benzoltransporte	17
5.3.5 Auswertung der Geruchstransporte	17
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>19</b>
<b>7. Literatur</b>	<b>21</b>

<b>Anhang 1</b>	<b>Areal und Tabellen</b>	<b>23</b>
<b>Anhang 2</b>	<b>Scatterdiagramme</b>	<b>25</b>
<b>Anhang 3</b>	<b>Rasterauswertungen der Trajektorien: Einflussbereiche</b>	<b>28</b>
<b>Anhang 4</b>	<b>Rasterauswertungen der Trajektorien: Benzol, SO<sub>2</sub></b>	<b>31</b>
<b>Anhang 5</b>	<b>Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch</b>	<b>34</b>

## 1. Einleitung

Im Grenzgebiet zwischen Sachsen und der Tschechischen Republik bestehen seit geraumer Zeit Probleme im Bereich der Luftreinhaltung, die in starkem Maße auf Schadstofftransporte, die auch Geruchsausbreitung einbeziehen, aus dem Böhmischem Becken zurückzuführen sind.

In beiden Regionen sind in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, lokale Emissionen in Monitoring-Systemen zu erfassen und in der Folge zu minimieren. Jedoch ergeben sich bis heute weiterhin verschiedene luftchemische Faktoren, die zur Belastung speziell der Bergregion führen (OMKAS-Abschlussbericht, 2000).

Speziell die Beschwerden von Bürgern über unerwünschte Gerüche im grenznahen Gebiet des Mittleren Erzgebirges waren Anlass für mehrjährige Untersuchung.

Im Winterhalbjahr 2001/2002 wurde daher ein erweitertes Geruchsprobandenprogramm durchgeführt. Es umfasste auf deutscher Seite das grenznahe Gebiet mit den Orten Olbernhau, Neuhausen, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel und Seiffen und in Tschechien das Gebiet Meziboří, dem Kammgebiet - West mit den Orten Brandov, Hora Sv. Kateřiny und Nová Ves v Horách und dem Kammgebiet - Ost mit den Orten Mníšek, Klíny und Český Jiřetín (Abraham J., Janatová L., Hrbek T., Gerwig H., 2002). Die vorliegende Untersuchung reiht sich in diese Bemühungen ein. Ziel dieses Vorhabens ist die Anwendung einer dreidimensionalen Trajektorienberechnung zur Analyse von speziellen Transportereignissen. Dabei wird angestrebt, den lokalen Einfluss im orographisch gegliederten Gelände auf Transportprozesse adäquat zu berücksichtigen und das regionale und großräumige Transportverhalten in Bezug auf Geruchsbeobachtungen und erhöhte Werte von SO<sub>2</sub> und Benzol hin zu untersuchen. Dabei sollen die erweiterten und detaillierteren Messungen und Geruchserfassungen in Abhängigkeit vom aktuellen Wettergeschehen festgehalten werden.

Frühere Berichte (Reimer, Scherer, Berendorf, Wietstock, 1998) und (Reimer, 2001) behandelten entsprechende Untersuchungen.

Die meteorologische Datenbasis ist wesentlich durch Daten des Deutschen Wetterdienstes gegeben und durch spezielle Messungen des sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie und des Tschechischen Hydrologischen Instituts verstärkt.

Die Transportbestimmung wird über Rückwärtstrajektorien durchgeführt, die über eine numerische Windfeldanalyse berechnet werden, die in zwei Schritten großräumige und kleinräumige meteorologische Analysen verbindet.

Auf der Basis dieser Trajektorien wurde für die Episode Oktober 2001 bis März 2002 für die oben aufgeführten Orte und Bereiche eine Ausbreitungsklimatologie erstellt.

Die geplante Anwendung von Vorwärtstrajektorien ist nur testweise verfolgt worden, da eine bessere Kenntnis spezieller Emissionen notwendig ist, um eine zusätzliche Information zu der Rückwärtsbetrachtung zu erhalten.

## **2. Datenbasis für das Analysenmodell**

### **2.1 Modellgebiet**

In den Abb. 1.1 ist der Bereich dargestellt, in dem die spezielle Untersuchung stattfindet. Er umfasst das Land Sachsen und den nördlichen bis westlichen Teil Böhmens. Das zentrale Erzgebirge mit den tschechischen Anrainerbezirken stellt das unmittelbar interessierende Areal dar, in dem spezielle Geruchs- und andere Immissionsereignisse registriert wurden.

### **2.2 Datenaufbereitung**

#### **2.2.1 Geophysikalische Daten**

Für die Trajektorienberechnungen werden zwei Areale auf der auf 60°N bezogenen stereographischen Kartenprojektion verwendet:

- ein mitteleuropäisches Areal, dargestellt mit einem numerischen Gitter der Maschenweite von ca. 25 km in 60°N,
- ein kleines Gebiet, das Sachsen und Teile Böhmens umfasst, mit einem numerischen Gitter mit der Maschenweite von ca. 2 km in 60°N.

Die topographischen Höhen über NN und die Dateien der Bodenbeschaffenheit in Form von Landnutzungsklassen für das große Areal wurden der Datenbasis im Rahmen der Maßnahmenmodellierung im Auftrag des Umweltbundesamtes (Kerschbaumer und Reimer, 2002) entnommen.

Die entsprechenden Daten des kleinen Areals wurden aus dem BMFB Schwerpunkt Troposphärenforschung zur Verfügung gestellt.

Die geophysikalischen Daten enthalten:

Topographie

Landnutzungsdaten (10 Klassen):

- Wasser
- Agrarland, landwirtschaftliche Anbaugelände
- Dauergrünland
- Daueranbaugelände
- Siedlungsgelände, Städte
- Laubwald
- Nadelwald
- Mischwald
- offener Boden (vegetationsfrei)
- Sumpfgelände

Die für die numerische Analyse benötigten Parameter, wie z.B. Rauigkeitslängen und Verdrängungshöhen, werden als Funktion der Landnutzungsklassen bestimmt.

## 2.2.2 Meteorologische Daten

Die meteorologischen Daten werden von Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes und vom sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie zur Verfügung gestellt:

- Radiosonden- und Pilotmeldungen der synoptischen Aerologiestationen,
- stündliche und dreistündliche Beobachtungen von Teilen der synoptischen Beobachtungsnetze des deutschen, tschechischen und polnischen Wetterdienstes,
- Sondermessdaten aus dem Umweltmessnetz des sächsischen und des tschechischen Landesamts.

Die Sondermessungen umfassen Windmessungen an den Stationen Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most.

Die Verdichtung der Windmessungen im zentralen Erzgebirge ist von wesentlicher Bedeutung für diagnostische Untersuchungen dieser Art, da die Hauptintention darin besteht, mit der dreidimensionalen Datenanalyse möglichst nahe an Beobachtungen zu bleiben und möglichst wenig rein mathematisch-physikalische Modellierung einzubinden. Das bedeutet, dass die Verbesserung der Methodik besonders stark von erweiterten Beobachtungsgut abhängt.

## 2.2.3 Immissionsdaten

Es wurden ½-stündige Benzolkonzentrationen an den Stationen Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most und SO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Station Schwartenberg gemessen.

Die Erfassung von Geruchsereignissen war im Frühjahr 2001 nur generalisiert möglich, da eine Aufzeichnung der Ereignisse im Wesentlichen über eine Beschwerdeführung der ortsansässigen Bewohnern des Erzgebirges erfolgte. Ein Fragebogenprogramm, nach VDI-Richtlinien ( z.B. VDI Richtlinie Nr. 3883, 1997) war ad hoc nicht aufbaubar. Im Winter 2001/2002 wurde in sächsischen und tschechischen Orten des zentralen Erzgebirges eine detaillierte Geruchsfragebogenaktion durchgeführt, die neben der genaueren Zeiterfassung auch die Geruchsart in 17 Gruppen und eine Angabe zur Intensität erfasste (Schmidt, 2002).

Abb.1.2 zeigt für die spezielle die Erzgebirgsregion die sächsischen und tschechischen Ortschaften, an denen Windmessungen und Geruchsinformationen aufgenommen wurden.

Neben den Geruchsmeldungen wurden im interessierenden Areal ½-stündige Benzolkonzentrationen an den Stationen Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most sowie SO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Station Schwartenberg gemessen.

### **3. Dreidimensionale meteorologische Analyse**

#### **3.1 Grundlegender Ablauf**

Die meteorologischen Daten werden diagnostisch aufbereitet.

Die großräumigen Analysen meteorologischer Felder über Mitteleuropa werden mit dem an der FU Berlin entwickelten, diagnostischen Analysesystem erstellt (Reimer und Scherer, 1992).

Für kleinräumige Analysen (Gitterweite ca. 2km) wird zusätzlich optional ein Teil des meteorologische Aufbereitungsmodell CALMET, das von der Firma Sigma Res. in den USA im Auftrag der kalifornischen Umweltbehörde entwickelt wurde (Scire et al., 1990), verwendet. Dabei können mit Hilfe von Strömungsadaptationsalgorithmen alle Windfelder im orographisch gegliederten Gelände angepasst werden.

Diese verfeinerte Analyse bedarf allerdings weiterer meteorologischer Daten, um realistische, kleinräumige Phänomene in die numerischen Felder einbeziehen zu können.

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.

Das Verfahren zur Berechnung dreidimensionaler Trajektorien wird im überregionalen wie auch im regionalen Bereich eingesetzt.

Es werden dreidimensionale Rückwärtstrajektorien an den Stationen Olbernhau, Seiffen Deutscheinsiedel, Rudolice, Mezibori und Most gestartet. Diese Trajektorien werden mit den jeweiligen lokalen Immissionen zeitabhängig in Beziehung gesetzt.

#### **3.2 Numerische Analyse**

Das hier angewandte Analyseverfahren besteht im Kern aus einer statistischen Interpolation (optimum interpolation, O/I) beobachteter und abgeleiteter Feldgrößen auf isentropen Flächen am Gitterpunkt und einem physikalischen Abgleich der Felder mittels Variationsrechnung.

Die Analysen werden auf isentropen Flächen mit einer Gitterweite von ca. 25km und 2km in geographischen Koordinaten dargestellt. Der Abstand der isentropen Flächen ist der vertikalen Struktur der Atmosphäre angepasst mit hoher Auflösung in der Troposphäre und wachsendem Gitterabstand in der Stratosphäre. Die unterste Modellfläche liegt vollständig unterhalb der Topographie. In der unteren Troposphäre beträgt der Gitterabstand gleichmäßig  $\Theta=2.5K$  und nimmt zur Modelobergrenze in der Stratosphäre, schrittweise zu. So befinden sich ca. 15-18 Niveaus innerhalb der Troposphäre.

Durch die Wahl des isentropen Koordinatensystems und seiner recht hohen Auflösung werden insbesondere vertikal gering ausgedehnte thermische Strukturen besser wiedergegeben als in einer Standard-Druckflächenanalyse. Z.B. werden Inversionen oder allgemein die lokale Stabilität flächenhaft erfasst und ihre im allgemeinen schräge Raumlage wiedergegeben. Druck und Temperatur unterhalb der Topographie werden mit Standardverfahren reduziert bzw. extrapoliert.

Die dreidimensional analysierten Variablen sind:

Montgomery-Potential  $M = c_p T + gH$

Druck (Temperatur)  $p^k = (p/1000)^{2/7}$

lokale Stabilität  $\partial p^k / \partial \Theta$

Windvektorkomponenten

vertikale Windscherung

relative Feuchte,

die auf 24 isentropen Flächen und einer Bodenfläche (Sigma-Koordinate) dargestellt werden.

Zweidimensional werden dargestellt:

Bewölkung und Wetter aus Bodenbeobachtungen

Potentielle Temperatur in 2m Höhe

Bodendrucktendenz (dreistündlich)

Inversionshöhen aus Radiosonden

Turbulenzmaßzahlen

Das Schema ist als skalenabhängiges Korrekturverfahren aufgebaut und verwendet großräumige Analysen oder Vorhersagefelder als Ausgangspunkt.

Der Verfahrensablauf gliedert sich auf in folgende Schritte:

Analyse im groben Gitter:

- Analysen der Boden- und Radiosondenbeobachtungen,
- zeitliche Interpolation auf stündliche Zwischentermine, wenn erforderlich,
- Berechnung der Grenzschichtvariablen.

Analyse im feinen Gitter:

- Interpolation der großräumigen Felder auf den kleinen Ausschnitt,
- Interpolation der verbleibenden Abweichungen zu den Beobachtungen auf das feine Gitter,
- wiederholte Berechnung der Wetter und Grenzschichtparameter.

In die Analyse ist die räumliche und zeitliche Erfassung der Temperaturinversionen und ihrer Mächtigkeit sowie die horizontale Interpolation von Niederschlag, Bedeckungsgrad, Wolkentyp usw. eingebunden.

Nach der dreidimensionalen Analyse werden die Grenzschichtvariablen und - unter Berücksichtigung der beobachteten Temperaturinversionen - der tägliche Verlauf der Mischungshöhe berechnet. Die Parameter am Boden sind auf einer terrainfolgenden Koordinatenfläche definiert und werden auf die Modelltopographie hin abgestimmt.

Das Ergebnis der Analyse sind dreidimensionale Felder von Windkomponenten, Temperatur und Feuchte, zweidimensionale Felder der meteorologischen Bodenbeobachtungen und der Grenzschichtparameter einschließlich Mischungshöhen



sowie eine dreidimensionale Inversionsdarstellung im gesamten Modellgebiet. Pro Tag werden zusammenhängend acht Analysen (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC) ausgeführt. Die Grundfelder für Zwischentermine, die keine ausreichende Basis an Beobachtungen aufweisen, werden durch Interpolation der nächstliegenden Termine erzeugt, wobei evtl. vorhandene Messungen örtlich berücksichtigt werden.

### **3.3 Adaptation an die feine Auflösung**

Der meteorologische Treiber CALMET (Scire et al., 1990) ist ein universell einsetzbares Programmsystem zur Erzeugung von meteorologischen Eingabedaten für das chemische Transportmodell CALGRID (Yamartino, R., et al., 1989).

Dieses Programmsystem wurde in das meteorologische Datensystem eingebunden mit der Aufgabe, charakteristische orographische Effekte des untersuchten Gebietes in die 3-dimensionale Strömung vereinfacht zu integrieren.

Das diagnostische Strömungsmodul arbeitet in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird das „mittlere“ Strömungsgrundfeld der Modellregion erzeugt, und an thermodynamisch und topographisch bedingte Strömungsverhalten adaptiert. Folgende Optionen stehen zur Verfügung:

- Anpassung an kinematische Effekte durch die Topographie
- Berechnung der Hangwinde
- Berechnung von Effekten durch Strömungsbarrieren
- Anpassung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente

Das endgültige Strömungsfeld wird mittels iterativem Verfahren zur Massenerhaltung gezwungen. Zur Minimierung der Divergenz und Erhaltung der Massenbilanz des Strömungsfeldes wird ein iteratives Verfahren eingesetzt.

Eine ausführliche Beschreibung der Verfahren befindet sich in [Scire et al., 1994].

### **3.4 Grenzschichtparameter**

Zur Bestimmung der Parameter der planetarischen Grenzschicht werden beiden Verfahren vereinfachte eindimensionale Grenzschichtmodelle verwendet (Van Ulden und Holtlag, 1985, Hanna und Paine, 1989). Die Grenzschichtmodule verwenden unterschiedliche Parametrisierungen über Land und Wasser.

Die Entwicklung der Mischungshöhen und die dazugehörigen Entrainment-Prozesse werden tagsüber bei positivem Wärmefluss aus einer prognostischen Gleichung berechnet. Die Höhe der Mischungsschicht wird tagsüber als das Maximum aus konvektiver und neutraler Mischungshöhe berechnet.

Bei negativem Wärmefluss, in der Regel nachts, wird eine Gleichgewichtsformel angewandt.

Die turbulenten Grenzschichtparameter Monin-Obukhov-Länge, Schubspannungsgeschwindigkeit, konvektive Geschwindigkeit und sensibler Wärmefluss am Boden werden bei der Bestimmung der Mischungsschichthöhe mit errechnet. In dieser Arbeit wird nur die Massenerhaltung und Vertikalbewegung korrigiert.

### 3.5 Ausgabe

Überblick über die in der Analyse bereitgestellten Feldgrößen:

#### **Dreidimensionale Felder:**

Temperatur	T
Spezifische Feuchte	q
Wind	U,V
Exner-Funktion	$\pi = (p/1000)^{2/7}$
Stabilität	$\partial\pi/\partial\Theta$
Montgomery-Potential	$M = c_p T + \Phi$

#### **Zweidimensionale Felder:**

bodennahe Temperatur	$T_s$
bodennahe Feuchte	$q_s$
bodennaher Wind	U,V
Wassertemperatur	$T_w$
Bodendruck	$p_s$
Bodendrucktendenz (3-stg)	$\partial p_s / \partial t$
Temperaturinversionshöhen	$l_h$
„ „ mächtigkeit	$l_d$
Bedeckungsgrad	N
Wolkenart	nach Meldeschlüssel
Wolkenuntergrenze	$H_N$
Niederschlag	R
Sichtweite	VV

#### **Planetarische Grenzschicht:**

Mischungsschichthöhe	h
Monin-Obukhov-Länge	L
Schubspannungsgeschw.	$u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$
Temperatur ,scale'	$\Theta^* = -H_0/(\rho C_p u^*)$
Konvektive Geschwindigkeit	$w^*$
sensibler Wärmefluss Boden	$H_0,$
Rauhigkeitslänge	$z_0$ (als Funktion der Bodennutzung)

#### 4. Trajektorienberechnung

Für die Analyse und Verfolgung von Schadstoffen und chemischen Beimengungen in der Atmosphäre und deren Wirkung wird an eine Trajektorienbestimmung angeknüpft, die für verschiedene Fälle angewendet wurde (Reimer et.al. 1998, Marquardt et.al. 1996). Die Berechnungen finden auf raum- und zeitabhängigen isentropen Flächen 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 Langrange'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. Diese Prozedur wird für jeden Zeitschritt durchgeführt. Der Zeitschritt für diese Berechnungen beträgt 10 Minuten. Da die Analysen dreistündig bzw. einstündig vorliegen, wird über eine graduelle zeitabhängige Wichtung zu den beobachteten Windfeldern gewährleistet, dass alle Trajektorien eine strikte Übereinstimmung von Windvektoren und Trajektorienorientierung an den Beobachtungsterminen zeigen.

In der planetarischen Grenzschicht wird nur die kinematische Methode verwendet, da bei Trajektorien die Verwendung turbulenter Reibungsansätze problematisch ist und z.Zt. die Verwendung der beobachteten, bodennahen Winde im Vordergrund steht.

Um einen besseren Eindruck über die vertikale Schichtung in der bodennahen Atmosphäre zu erhalten, werden in diesen Untersuchungen an jedem Ort zwei Trajektorien gestartet:

- eine, die strikt entlang der Bodenfläche berechnet wird und
- eine, die dreidimensional die Entwicklung der Grenzschicht und der Verhältnisse in der freien Atmosphäre berücksichtigt.

Für festgelegte Startorte werden vorwärts und rückwärts alle 10 Minuten Trajektorien gestartet, um eine statistisch relevante Zahl für die Auswertung zu erhalten. Außerdem wird dadurch die starke Variabilität in Zeit und Raum transparent. Auf eine Berücksichtigung turbulenter Ansätze in Form der Monte-Carlo-Methode wurde verzichtet, da z.Zt. nur sehr wenig gemessene Informationen z.B. über die lokale, vertikale Stabilität in der betrachteten Region vorliegen.

Im Folgenden werden im Wesentlichen Bodentrajektorien verwendet.

## 5. Untersuchungen

In einem ersten Schritt wurden die meteorologischen und chemischen Parameter verglichen. Da die meteorologischen Messstationen der nationalen Wetterdienste nicht mit dem Immissionsmessnetzen der Länder übereinstimmen, ist eine geeignete Kombination von Datensätzen benachbarter Beobachtungsorte notwendig. Alle Zeitbezüge sind in UTC angegeben.

### 5.1 Zeitreihen

Gegeben sind

- Geruchsmeldungen an einer Reihe von Stationen: auf deutscher Seite die Orte Olbernhau, Neuhausen, Deutschneudorf, Deutscheinsiedel und Seiffen, auf der tschechischen Seite Meziboří, das Kammgebiet - West (Brandov, Hora Sv. Kateřiny und Nová Ves v Horách) und das Kammgebiet - Ost (Mníšek, Klíny und Český Jiřetín).

Die halbstündigen Beobachtungen an den Stationen Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most enthalten:

- Temperatur,
- Windrichtung,
- Windstärke [Knoten],
- Benzol [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] und
- $\text{SO}_2$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], nur Schwartenberg.

Dazu werden die meteorologischen Beobachtungen der Bergstationen Zinnwald und Milesovka zugeordnet, mit den Parametern:

- Temperatur,
- Sichtweite [km],
- Bedeckung mit Wolken [x/8],
- aktuelles Wetter [WMO Code],
- Windrichtung und
- Windstärke [Knoten].

Von zusätzlichem Interesse war das Auftreten von vertikalen Temperaturinversionen, die eine Aussage über die Stärke des vertikalen Austausches am Erzgebirge geben können. Da sich in der unmittelbaren Umgebung keine Radiosondenmessung befand, wurde ersatzweise die Temperaturdifferenzen zwischen Bergstationen und Bodenstationen am mittleren Erzgebirge verwendet. Hierfür wurde das Mittel der Temperaturdifferenz zwischen Zinnwald, Milesovka und Usti, Tusimice für jeden Termin bestimmt.

### 5.1.1 Geruchsmeldungen

In verschiedenen Orten in der Region des mittleren Erzgebirges wurden für den Zeitraum vom 1.10.2001 bis 1.4.2002 Geruchsbeobachtungen gesammelt (Schmidt G., 2002).

Die Geruchsbeobachtungen liegen mit Zuordnung der Zeit unterhalb von Stundenintervallen vor. Die Gerüche sind dabei auch für einzelne Geruchstypen getrennt worden, die 17 Klassen in den Fragebögen umfassen. Für die praktische Auswertung wurden jedoch nur 3 Klassen mit der dazugehörigen mittleren Intensität verwandt.

- 3 Klassen zur Auswertung: Industrie, Hausbrand, Tier/Stall

Aus diesen Meldungen wurde halbstündige Zeitreihen erstellt. Die Anzahl der Geruchsmeldungen der zusammengefassten Orte wurde entsprechend der vorangegangenen Vorgehensweise addiert und mit der mittleren Geruchsstärke multipliziert, um in den Zeitreihen die intensiven Phasen hervorheben zu können.

Da die in ½-Stundenwerten interpretierte Geruchszeitreihe ungenau sein muss, wurde im Vergleich die Flussdarstellung betrachtet. Dabei wird die Zahl der Geruchsbeschwerden mit der Windstärke multipliziert. Die Flussdarstellung zeigt im Vergleich an, inwieweit eine homogene Anströmung vorliegt.

### 5.1.2 SO<sub>2</sub> und Benzol

Für die in Halbstundenwerten gegeben Daten wurde keine Datenergänzung durchgeführt, da in der Folge keine geschlossene Datenreihe erforderlich war.

Beide Messreihen zeigen im Vergleich zu den Geruchsreihen, dass die mehrfach beobachteten Maxima nicht einfach in Zeit und Größenordnung übereinstimmen. Im Anhang 2 sind hierzu eine Reihe von Scatterdiagrammen dargestellt, die demonstrieren, dass die Häufigkeit der Geruchsmeldungen nicht eindeutig mit Maxima von SO<sub>2</sub> oder Benzol übereinstimmt.

Das kann als Hinweis auf teilweise unterschiedliche Quellen bei gleicher Anströmung und Quellregion gewertet werden.

### 5.1.3 Meteorologische Messungen

An der Station Schwartenberg wurden als meteorologische Parameter die Temperatur und der Wind gemessen. Für einen Vergleich mit zusätzlichen meteorologischen Parametern wurden die Beobachtungen der Station Zinnwald herangezogen. An dieser Beobachtungsstation des Deutschen Wetterdienstes werden zusätzlich zu Temperatur und Wind die Bedeckung mit Wolken, die horizontale Sichtweite und das aktuelle Wettergeschehen (Regen, Nebel ....) beobachtet.

Von zusätzlichem Interesse war das Auftreten von vertikalen Temperaturinversionen, die eine Aussage über die Stärke des vertikalen Austausches am Erzgebirge geben können. Da sich in der unmittelbaren Umgebung keine Radiosondenmessung befand, wurde ersatzweise die Temperaturdifferenzen zwischen Bergstationen und Bodenstationen am mittleren Erzgebirge verwendet. Hierfür wurde das Mittel der

Temperaturdifferenz zwischen den Bergstationen Zinnwald (877m) / Milesovka (833m) und den südöstlich vom Erzgebirge liegenden Orten Usti (377m) / Tusimice (322m) für die Monate bestimmt.

Die Parametervergleiche zwischen Immissionen und erweiterten meteorologischen Messungen sind hier nicht weiter dargestellt, da sich keine anderen Erkenntnisse gegenüber Frühjahr 2001 (Reimer, 2001) ergeben.

## 5.2 Parametervergleich

Um einen ersten Einblick über die Transportrichtung zu erhalten, ist die Darstellung der Immissionsparameter gegen die Windrichtung sinnvoll. Die Abb. 2.1 bis 2.12 zeigen für Benzol, Geruch, Geruchsfluss die Scatterdiagramme mit der Windrichtung an der jeweiligen Bezugsstation. Dabei zeigt sich, dass die Anströmrichtung bei hohen Werten für Benzol am Schwartenberg, Deutscheinsiedel und Rudolice (Abb. 2.1–2.3) überwiegend Südost ergibt. Allerdings ergibt sich für Schwartenberg eine eindeutige Kanalisierung der Strömung, die dem in Abb. 1.1 erkennbaren Gebirgseinschnitt im Raum Seiffen zuzuordnen ist. Die Station Most liegt in niedriger Lage südöstlich des Einschnittes und weist keine ausgeprägte Richtungszuordnung aus (Abb. 2.4).

Die Belastung durch Benzol ist in Most am höchsten, während die Stationen Rudolice relativ geringere Spitzenwerte aufweist.

Die Geruchsbeobachtungen zeigen jedoch eine stärkere Variabilität gegenüber der Windrichtung. Die höchsten Geruchsbelastungen ergeben sich im Raum Seiffen (Abb. 2.6), wo im Vergleich auch die häufigsten Meldungen auftraten. Am geringsten ist die Region Kammgebiet Ost belastet, einer Region, die von der Windrichtung her eher von den anderen Regionen abgekoppelt erscheint.

Auch wenn eine Kanalisierung in den sächsischen Stationen erkennbar ist, so sind eine Reihe von Geruchsbeobachtungen mit anderen Windrichtungen verbunden. Hier ist eine Geruchsdifferenzierung sinnvoll. Sie wird in Zusammenhang mit der Transportbetrachtung mit Trajektorien durchgeführt.

In Abb. 2.11 und 2.12 ist als Beispiel die Windrichtung gegenüber dem Geruchsfluss dargestellt. Dabei ist eindeutig, dass in Seiffen die Kanalisierungsströmung ganz dominant ist, während im Kammgebiet-West die Nordwest- bis West-Anströmung überwiegt.

Die Einbeziehung zusätzlicher Winddaten im zentralen Erzgebirge zeigt sich hierbei als sehr wichtig, da gegenüber früheren Berechnungen (Reimer, 2002) dieses Lokalverhalten besser beschrieben wird.

## 5.3 Trajektorien

Die Windrichtung am Immissionsort ermöglicht keine genaue Zuordnung zu Quellregionen, daher ist die Betrachtung mit Boden- und 3D-Trajektorien sinnvoll.

Es wurden durchgehend für den Untersuchungszeitraum je zwei Rückwärtstrajektorien an der jeweiligen Station im ½ Stundenabstand gestartet und mit einem Zeitschritt von 10 Minuten berechnet; Bodentrajektorien entlang der Topographie und dreidimensionale

Trajektorien.

Für die Episode Oktober 2001 bis März 2002 wird nur eine maximale Laufzeit von 12 Stunden ausgewertet, da die zeitliche Verdünnung der Gerüche, SO<sub>2</sub> und Benzol unbestimmt ist und als hoch anzusetzen ist. Die Auswertung der Bodenkontakte entlang der Rückwärtstrajektorien wurde mit Interpolation in Sekundenabfragen durchgeführt. Die Laufzeit wurde nicht weiter aufgeschlüsselt.

Es werden zwei Trajektoriengruppen ausgewertet:

- 3d-Trajektorien
- Bodentrajektorien

Erwartungsgemäß weist die 3d-Variante in der Regel erheblich geringere Bodenkontakte auf als die Bodentrajektorien. Beide haben ihre eigene Fehlerhaftigkeit, 3-d Trajektorien zum Teil durch die Ungewissheit der realen Vertikalbewegungen und die Bodentrajektorien entsprechend der Annahme bodenparalleler Strömung. Für die nachfolgenden Statistiken werden nur die Auswertungen aus den Bodentrajektorien dargestellt, da sie ein geschlossenes Feld der räumlichen Bezüge erlauben.

### **5.3.1 Rasterzuordnung zu den Stationen und Regionen**

In einem Raum von 12° - 15°E und 50° - 51°N wurde ein Raster von ca. 1 km Maschenweite um das Erzgebirge aufgespannt.

Für dieses Raster und einem Höhenintervall von 0 bis 50m über Grund wurden die Trajektorien auf Treffer abgefragt.

- bei Bodentrajektorien nur die 1x1km-Raster,
- bei 3d-Trajektorien nur Kontakte unterhalb 50m über Grund.

Dabei ist eine weitere Interpolation auf Sekundenintervalle notwendig, um eine bessere Zeitauflösung für die direkte Abfrage zu erhalten. Während die Bodentrajektorien immer den entsprechenden Bodenrastern zugeordnet werden können, sind die 3D-Trajektorien je nach Temperaturstruktur und Tageszeit nur zeitweise mit der Bodenschicht in Kontakt, so dass sich eine unterschiedliche räumliche Trefferhäufigkeit ergibt.

### **5.3.2 Zuordnung mittlerer Immissionskonzentrationen**

Aus den Zeitreihen des Geruchs, des Geruchsanteile, des SO<sub>2</sub> und Benzols wird jeder Trajektorie, halbstündlich zwischen Oktober 2001 und März 2002 der entsprechende Wert zugeordnet und bei Kontakt mit einem Bodenraster jeweils direkt aufsummiert. Daraus ergibt sich eine Konzentrationssumme, die eine Wichtung des Trajektorienkontaktes mit der Immissionsstärke und des Kontakthäufigkeit verbindet. Aus den Kontaktsummen und den Summen von Geruch, SO<sub>2</sub> und Benzol wird eine jeweils mittlere Konzentration für jedes 1x1 km-Raster bestimmt, die unabhängig von

der Trefferhäufigkeit ist. D.h. eine hohe Konzentration im Summenraster kann auch durch einen Trajektorienkontakt hervorgerufen sein, was über 6 Monate aber vernachlässigbar ist.

- Im Anhang 3 sind die Summen der Trajektorienkontrakte
- im Anhang 4 sind die Summen für Benzol und So<sub>2</sub>
- im Anhang 5 sind die Summen der Gerüche und Geruchsanteile dargestellt.

Zur Orientierung sind einzelne Orte im sächsischen Erzgebirge und in Nordwestböhmen durch rote Sterne hervorgehoben und jede Rombe entspricht einer Rasterzelle.

Die jeweilige Bezugsstation ist als Stern besonders hervorgehoben.

### **5.3.3 Auswertung der Rasterdaten**

Die Abb. 3.1 bis 3.6 zeigen die meteorologischen Einflussgebiete für die sechs betrachteten Orte. Sie sind als allgemeine Korrelation anzusehen zwischen den räumlichen Punkten, natürlich inhomogen in Abhängigkeit von der Anströmung.

Hier zeigen die Orte Olbernhau, Seiffen Neuhausen und Mezibori einen unterschiedlich starken Bezug zum böhmischen Vorland und ins westliche Sachsen auf. Die Orte Olbernhau und Seiffen weisen auf die starke Kanalisierung der Strömung aus Südosten oder Nordwesten hin.

Im Gegensatz dazu zeigt Rudolice einen überwiegenden Bezug zu Strömungen aus dem Raum Sachsen, da der Erzgebirgskamm südöstlich des Ortes liegt. Der Stadt Most weist eine sehr enge räumliche Beziehung zur direkten Umgebung auf.

Durch die Bildung der Immissionssummen in Abhängigkeit von Trajektorienbahnen können potentielle Quellregionen und Einflusszone hervorgehoben werden, da mit der Entfernung vom jeweiligen Messort die Summenwerte nur hoch sein können, wenn entsprechend viele Trajektorienkontakte im Bodenraster gezählt wurden.

Die zugeordneten Konzentrationen in der Nähe der Startorte sind hoch, da die Trajektorien im direkten Umkreis des Startpunktes natürlich einen relativ kleines Areal mit Bodenkontakten durchlaufen.

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 der 6 Monate auftreten muss. Die Betrachtung einmaliger Emissionen ist hier nicht vorrangig. Dissipative Prozesse sind nicht berücksichtigt.



### **5.3.4 Auswertung der Benzoltransporte**

In allen Abbildungen im Anhang 4 zeigt sich, dass in Bezug auf Benzol mit dieser Überlegung sehr unterschiedliche Muster festzustellen sind.

Am Schwartenberg (Abb. 4.1) ist die Kanalisierung der Stömung stark und die Transporte hoher Benzolwerte ist auf eine südöstliche Strömung aus Böhmen zurückzuführen. Die Summenmaxima zeigen, dass potentielle Quelle im Anrainergebiet des Erzgebirges liegen müssen.

Die Belastungsdarstellung von Rudolice (ABB. 4.2) zeigt dagegen einen Belastung aus Sachsen mit der vorherrschenden Westströmung und einen geringeren Transport aus Böhmen, der allerdings mit den hohen Werten verbunden ist.

Im Gegensatz zu beiden Stationen weist Most keine stark bevorzugte Richtung aus und zeigt bei generell geringen Windgeschwindigkeiten eine gering verstärkte nördliche Transportbeeinflussung,.

Da die drei Stationen im Raster eindeutig hohe Werte aufweisen, können die klimatologischen Muster übereinander gelegt werden.

In den Abb. 4.5 und 4.6 werden die lokalen Benzolsummen der vier betrachteten Stationen addiert. Zunächst wird jedes der vier Stationsraster getrennt in Prozenten dargestellt, wobei die Rasterwerte direkt am Startort zu 100% gesetzt sind. Die nun vergleichbaren Raster werden addiert, wenn alle vier Felder erhöhte Rasterwerte zeigen. Das Ergebnisfeld zeigt mit den höchsten Werten die wahrscheinlichsten Emissionsareale, in denen eine gemeinsame, wiederholt auftretende Quelle besteht.

In den Abb. 4.5 für die gesamte Benzolmessung und in Abb. 4.6 für Konzentrationen > 5µgr am Messort ergibt sich ein gemeinsames Maximum nordwestlich von Most. Die statistische Betrachtung geht von häufig auftretenden Ereignissen aus, so dass mit hoher Wahrscheinlichkeit in diesem Gebiet eine Quelle für Benzol existieren muss. Dies steht mit entsprechenden Emissionsangaben im Industriekomplex nördlich von Most in Übereinstimmung.

Ein Beispiel ist für die Ausbreitung von SO<sub>2</sub> in Bezug zum Schwartenberg (Abb. 4.4) dargestellt. Es zeigen sich verschiedene Herkunftsregionen, wobei der Raum Comutov/Most als hervorgehobene Quellregion erscheint.

### **5.3.5 Auswertung der Geruchstransporte**

Die Geruchsummen der einzelnen Regionen und Orte (Olbernhau, Seiffen, Neuhausen, Kammgebiet-West, Mezibori und Kammgebiet-Ost) ist im Anhang 5 dargestellt, dabei wird auf die Darstellung des Kammgebietes-Ost verzichtet, da dort nur sehr wenig Geruchsmeldungen vorliegen.

Die einzelnen Orte zeigen die bei Benzol bereits beschriebenen lokalen Eigenheiten. So dominiert in Olbernhau (Abb. 5.2 und 5.3) und Seiffen (Abb. 5.6 und 5.7) der Geruchstransport aus Böhmen mit Industrie und Hausbrand entsprechend lokale Geruchsereignisse.

Im Gegensatz dazu weist das Kammgebiet-West bei geringerer Belastung mehr Geruch

durch Hausbrand (Abb. 5.16) aus der sächsischen Region auf. Die geringen Gerüche mit industrieller Zuordnung werden sowohl dem sächsischen, wie auch dem böhmischen Raum zugeordnet (Abb.5.15).

Der Ort Mezibori, der oberhalb von Litvinov am Südosthang des Erzgebirges liegt, wird ebenfalls stärker aus dem böhmischen Becken beeinflusst und die Gerüche zusammen genommen weisen auf stärkere industrielle Geruchstransporte aus Böhmen hin, speziell aus den Großraum um Most (Abb.5.17).

Die Beeinflussung durch Hausbrand ist stark von der Lage des Beobachtungsortes abhängig und weist daher tschechische und sächsische Quellen auf (Abb. 5.19).

Die Tier- und Stallgerüche unterliegen bei Seiffen auch einer Kanalisierung, jedoch ist auch eine lokale Beeinflussung anzunehmen, entsprechend den anderen betrachteten Orten, die keine wirklich bevorzugte Anströmrichtung aufweisen. Ferntransporte sind eher unwahrscheinlich.

In den Abb. 5.21-5.24 sind nochmals spezielle Geruchstypen dargestellt. So zeigt sich für das Gebiet Seiffen bei Lösungsmittel- und Mineralölgerüchen und Geruch nach verbranntem Kunststoff eine direkte Beziehung in den Raum zwischen Comutov und Most.

Speziell die Mineralölgerüche sind sehr stark auf das Gebiet nordwestlich und im Ortsbereich von Most bezogen, was mit Emissionsangaben in Übereinstimmung steht..

Für den Ort Olbernhau ist zum Vergleich in Abb. 5.24 ist das Raster für die Mineralölgerüche dargestellt, wobei die mögliche Herkunftsregion eng nordwestlich von Most zeigt. Die speziellen Geruchsmeldungen sind allerdings nicht so häufig wie in Seiffen, so dass Unsicherheiten bestehen.

An den anderen sächsischen und tschechischen Ortschaften sind diese speziellen Gerüche zwar aufgetreten, aber zu selten, um eine sinnvolle Trajektorienauswertung allein zuzulassen. Das weist auf der anderen Seite aber darauf hin, dass die spezielle Anströmung im Raum Seiffen zu diesen industriebezogenen Gerüchen aus Böhmen führt.

Es muss angemerkt werden, dass kleinere Geruchsmeldungen in allen Orten auch auf andere Quellen in Sachsen oder Tschechien schließen lassen und die hier durchgeführte Betrachtung auf die Quellgebiete oder -orte mit stärkeren Emissionen hinweisen will.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit einer gegenüber 1998 und 2001 erweiterten Trajektorienauswertung wurden Geruchs-, Benzol- und SO<sub>2</sub>-Belastungen im mittleren Erzgebirge untersucht. Dabei wurden erstmals zusätzliche Windmessungen aus Sachsen und Tschechien verwendet und die Geruchsbeobachtungen in verschiedenen Orten differenzierter durchgeführt.

Mit einem feinen Raster von 1x1km wurde über die gesamte Region Sachsen/Westböhmen die Beziehung zu den Immissionsorten abgefragt.

Über Rückwärtstrajektorien wurde bei entsprechendem Bodenkontakt die Konzentrationen von Geruch, Benzol und SO<sub>2</sub> am jeweiligen Startpunkt in jedem Raster summiert. Die Trajektorienauswertung war derart angelegt, dass über den Zeitraum Oktober 2001 bis März 2002 jeder ½-Stundenwert über Trajektorien zurückverfolgt wurde.

Grundsätzlich zeigt sich, dass Boden- und 3d-Trajektorienversionen zu ähnlichen Ergebnissen führen.

- Für die Beobachtungsorte Olbernhau, Seiffen, Neuhausen, Rudolice, Mezibori und Most ergeben sich sehr unterschiedliche Einflussgebiete, die stark orographisch beeinflusst sind (Anhang 3).
- Durch den Vergleich der Belastungsmuster der Stationen Schwartenberg, Rudolice und Most können hohe Benzolkonzentrationen wesentlich auf das Gebiet nordwestlich von Most zurückgeführt werden (Abb. 4.5 und Abb. 4.6).
- Most ist wesentlich nur aus der Umgebung belastet, hohe Benzolwerte sind etwas stärker mit einer nördlichen Anströmung verbunden (Abb. 4.3).
- Höhere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Erzgebirge können entsprechend den früheren Betrachtungen auf mehrere Ursprungsregionen: Südwestböhmen, Komotau und Most zurückgeführt werden (Abb. 4.4).
- Starke Geruchsmeldungen sind in sächsischen Region um Seiffen mit Transporten aus Tschechien verbunden, was auf die Gebirgsform in dieser Region zurückzuführen ist (Abb. 5.1-5.12 und 5.21-5.24).
- Der Wind im Raum Seiffen/Olbernhau wird stark durch die Gebirgsform kanalisiert.
- In den tschechischen Orten ergeben sich bei teils geringerer Belastung verschiedene Quellregionen (tschechische und sächsische) in Bezug zu Hausbrandgerüchen.
- Die Ausbreitungsmuster in Abhängigkeit von den Geruchstypen (Industrie, Hausbrand, Tier/Stall) sind unterschiedlich.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die lokalen Messwerte höherer Konzentrationen der Gerüche, des Benzol und SO<sub>2</sub> nicht generell zeitgleich auftreten, aber im betrachteten Zeitraum wesentlich der gleichen Region zuzuordnen ist. Das ist ein Hinweis darauf, dass unterschiedliche Quellen oder Quellregionen vorliegen können. Die gemeinsame

Betrachtung der Parameter erweist sich gerade wegen der Unterschiede als sinnvoll. So ergibt sich speziell eine gute Übereinstimmung der Quellgebiete für Benzol, Lösungsmittelgeruch und Geruch aus verbranntem Kunststoff.

Anzustreben wäre eine weitere Verdichtung der meteorologischen Messungen, die auch die vertikale Schichtung besser auflösen sollte. Eine verbesserte Datenlage wäre auch für die Betrachtung dissipativer Prozesse entlang der Trajektorien notwendig.

Eine Zuordnung zu Emissionskatastern ist möglich. Dieser direkte Bezug wäre von unmittelbarem Nutzen, da auch über Vorwärtstrajektorien eine zusätzliche Prüfung der Vorgehensweise möglich wäre.

## 7. Literatur

- Abraham J., Janatová L., Hrbek T., Gerwig H., 2002.  
Untersuchung im deutsch-tschechischen Grenzgebiet von Luftschadstoffen und Geruchsstoffen mittels Geruchsprobandenprogramm im Winterhalbjahr 2001/02. Abschlussbericht, Ústí nad Labem und Dresden, Oktober 2002
- Fiala J., Ostratnicka J. et al., 1996:  
Air Pollution in the Czech Republic 1995.  
Czech Hydrometeorological Institute, Air Quality Department
- Hanna S.R. und Paine R.J., 1989:  
Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM) Development and Evaluation.  
J. of Appl. Met., Vol.28, pp. 206-224.
- Kaupp H., 1997:  
Geruchsbelastung im Erzgebirge. INTERREG II Projekt OMKAS.  
Zwischenbericht Juli 1997. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Kerschbaumer A. und Reimer E., 2002.  
Erstellung der Meteorologischen Daten für Berlin-Brandenburg (F&E-Vorhaben des UBA: Entwicklung eines Modellsystems für das Zusammenspiel von Messung und Rechnung für eine bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität). Bericht Dez. 2002, UBA
- Nüntel, R., 2000.  
Trajektorien in Theorie und Praxis. Institut für Meteorologie, FU Berlin.
- Reimer E., 2001.  
Ausbreitungsanalyse von Geruchsstoffen und anderen Parametern am Mittleren Erzgebirge mittels Trajektorien, Institut für Meteorologie - Troposphärische Umweltforschung, FU Berlin; Abschlussbericht für Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Reimer E., Berendorf K., Weiß W., 1995:  
Lokale statistische Ozonprognose im Freistaat Sachsen für eine Realzeitanwendung.  
Freie Universität Berlin
- Reimer E., Kaupp H., 1997:  
Source Identification of Odour Compounds using Trajectories.  
Interreg II Research Project OMKAS, Proc. Of ECO-INFORMA ,97, 6.-9.October 1997, Eco-Informa Press, Bayreuth, 572-577.
- Reimer E., Scherer B., Berendorf K., Wietstock S., 1998  
Trajektorien zur hochauflösenden Emittenten-Analyse für den Winterwarndienst und die Untersuchung von grenzüberschreitenden Transporten. Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben des sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Freie Universität Berlin

- Reimer E. und Scherer B., 1992:  
An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling. Air Poll. Modelling and its Applications IX. Plenum Press
- Scire J., Iinsley E.M., Yamartino R., 1990b:  
Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model.  
Sigma Research Corp., Concorde, MA., USA.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Meteorologie, 2000.  
OMKAS, Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des Freistaates Sachsen. Umweltministerium des Freistaates Sachsen.
- Statistical Environmental Yearbook of the Czech Republic 1996,  
The Ministry of Environment of the Czech Republic, Czech Statistical Office.
- Schmidt E., 2002.  
Erhebung von Gerüchen in der Umgebung von Seiffen, IFU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen; Abschlussbericht im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.
- Van Ulden A.P. und Holtslag A.A.M., 1985:  
Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications.  
J. Climate and Appl. Meteor., Vol.24, No.11, pp. 1196-1207.
- VDI Richtlinie Nr. 3883, 1997:  
Wirkung und Bewertung von Gerüchen, Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung, Bl.1, 07.97.
- Yamartino, R., et al., 1989:  
A mesoscale photochemical grid model. Model formulation.

## Anhang 1

Abb 1.1: Modell und Analysegebiet

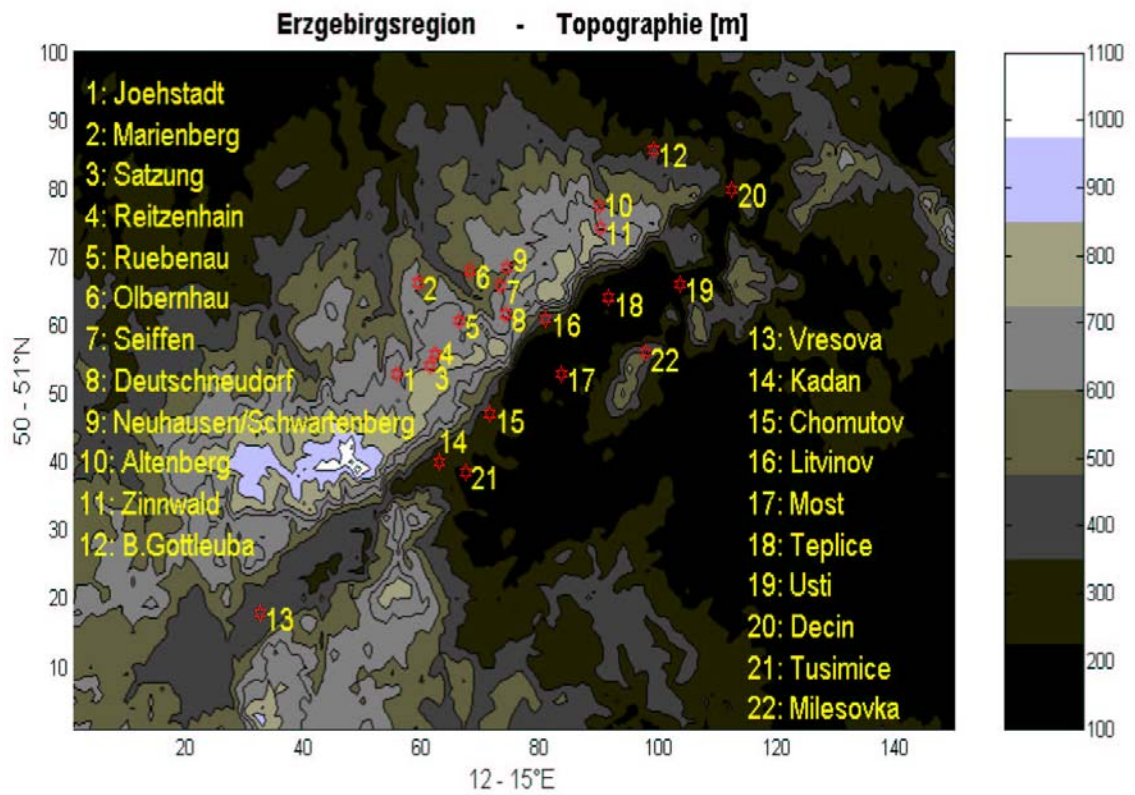
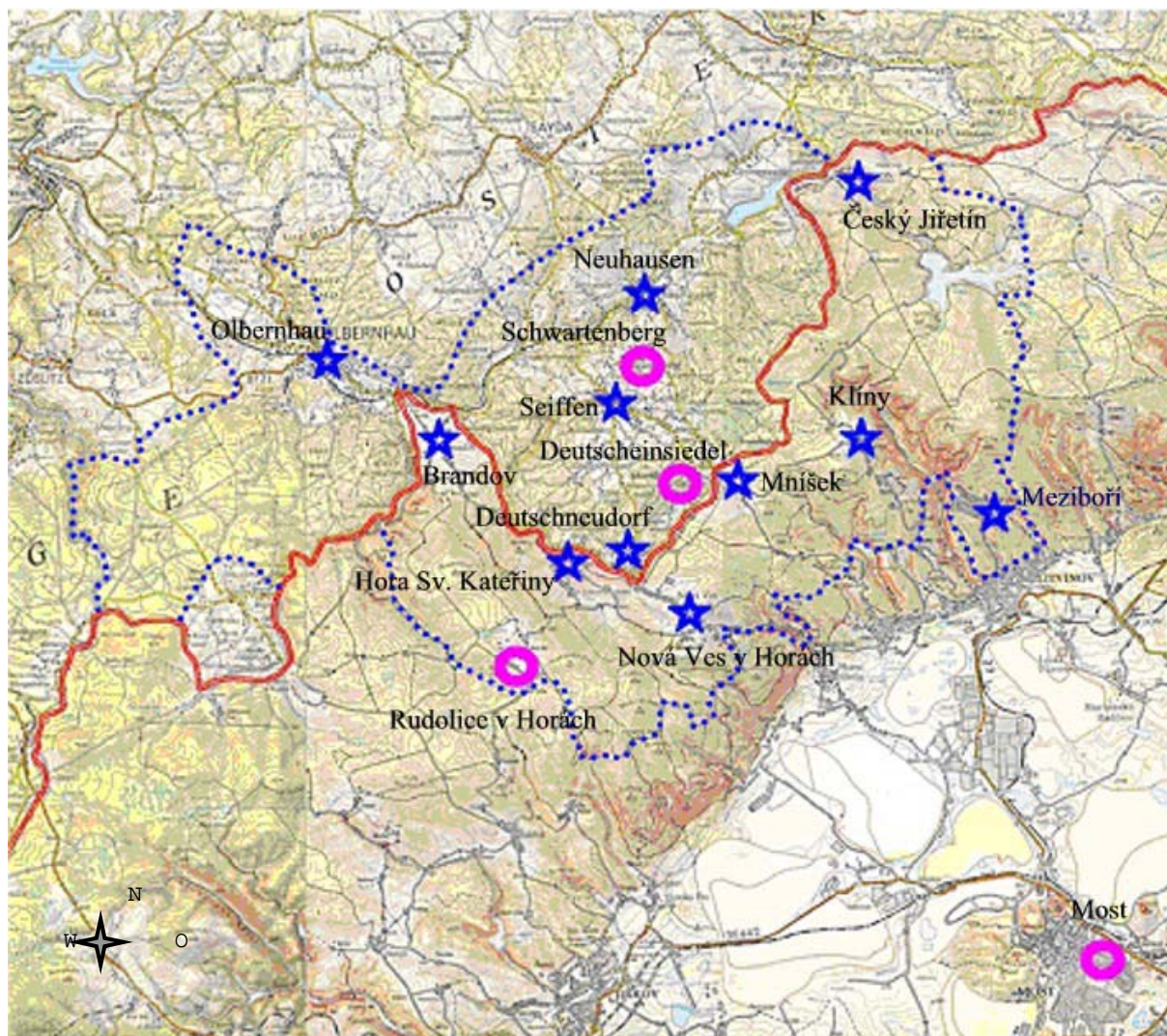


Abb 1.2: Untersuchungsgebiet – Karte (Abschlussbericht 2002)



Messstation



Gemeinden der Probanden



Staatsgrenze



Grenze der beteiligten Gemeinden des Projektuntersuchungsgebietes



## Anhang 2

Vergleich der Windrichtungen mit der Benzolkonzentrationen:

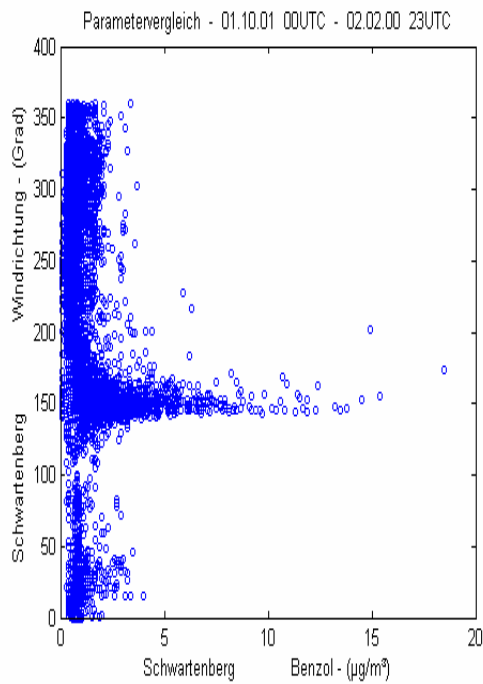


Abb 2.1 Schwartenberg

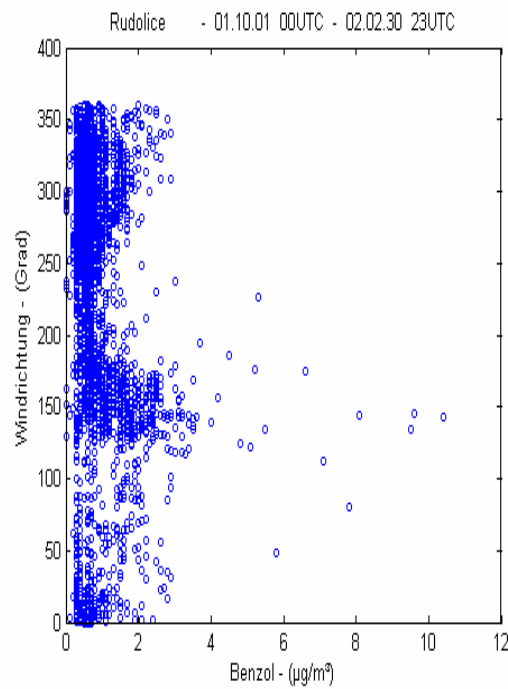


Abb. 2.2 Rudolice

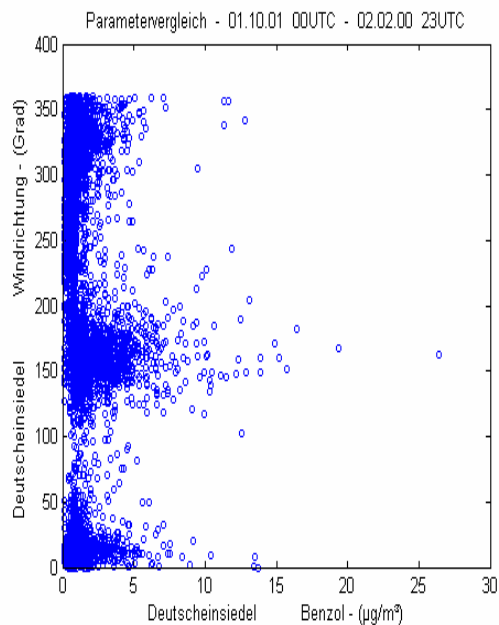


Abb. 2.3 Deutscheinsiedel

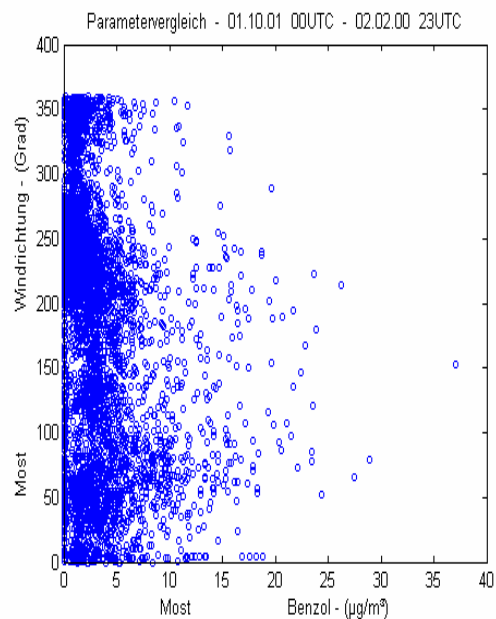


Abb. 2.4 Most

## Vergleich der Windrichtungen mit den Geruchsbeobachtungen:

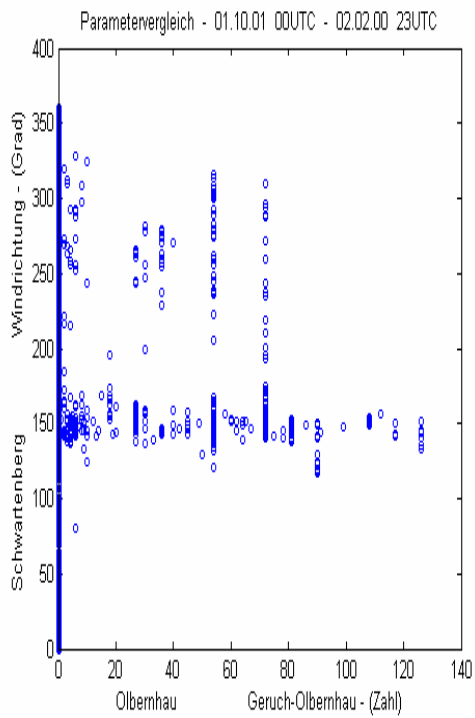


Abb. 2.5 Olbernhau

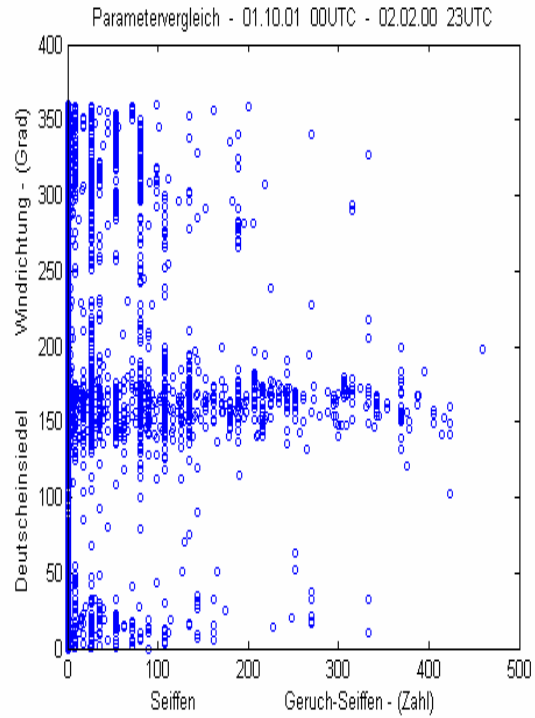


Abb. 2.6 Seiffen

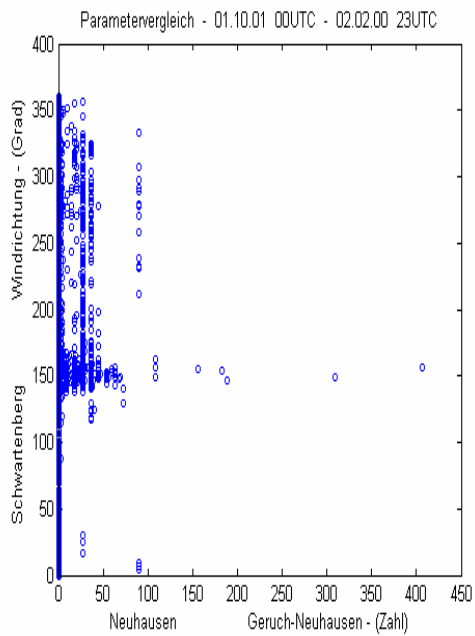


Abb 2.7 Neuhausen

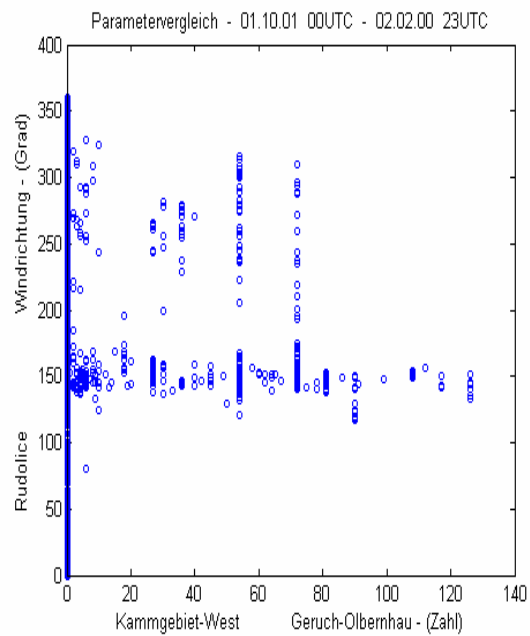


Abb. 2.8 Kammgebiet-West

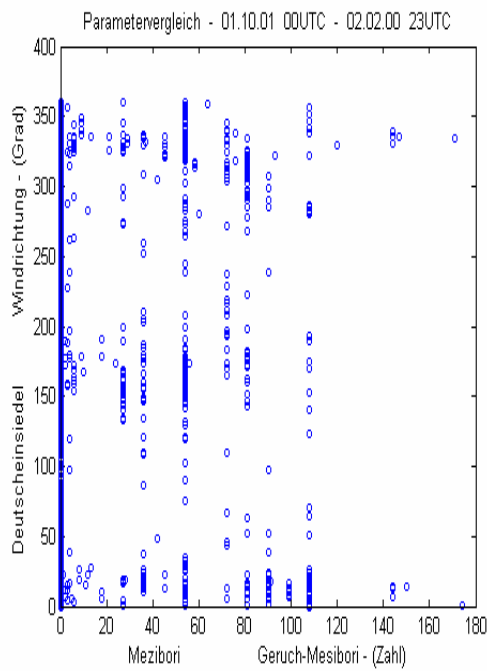


Abb. 2.9 Mezibori

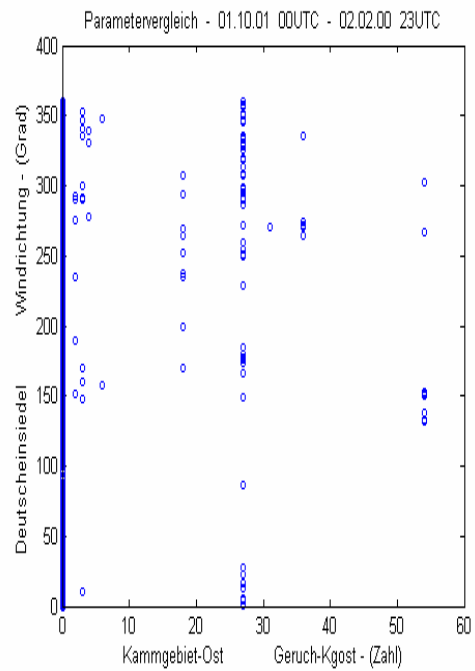


Abb. 2.10 Kammgebiet-Ost

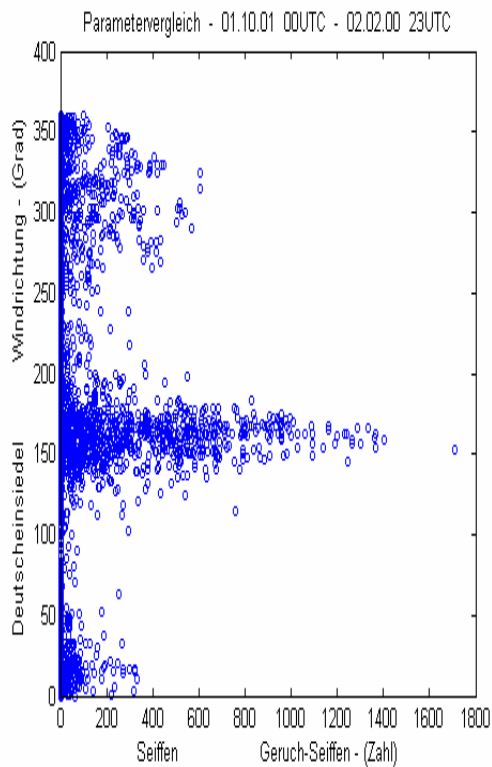


Abb. 2.11 Seiffen  
Geruchsfluss

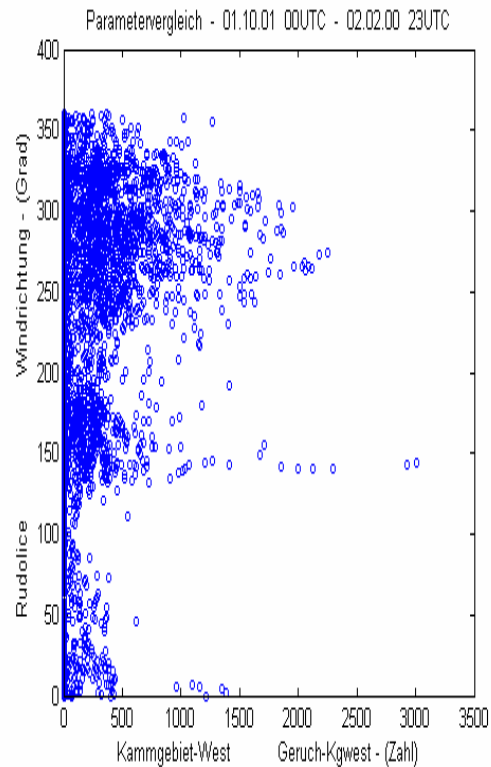


Abb. 2.12 Kammgebiet-West  
Geruchsfluss

### Anhang 3

Rasterauswertungen der Trajektorien: Einzugsbereiche, bestimmt anhand der lokal summierten Bodentrajektorientreffer im 1km-Raster.

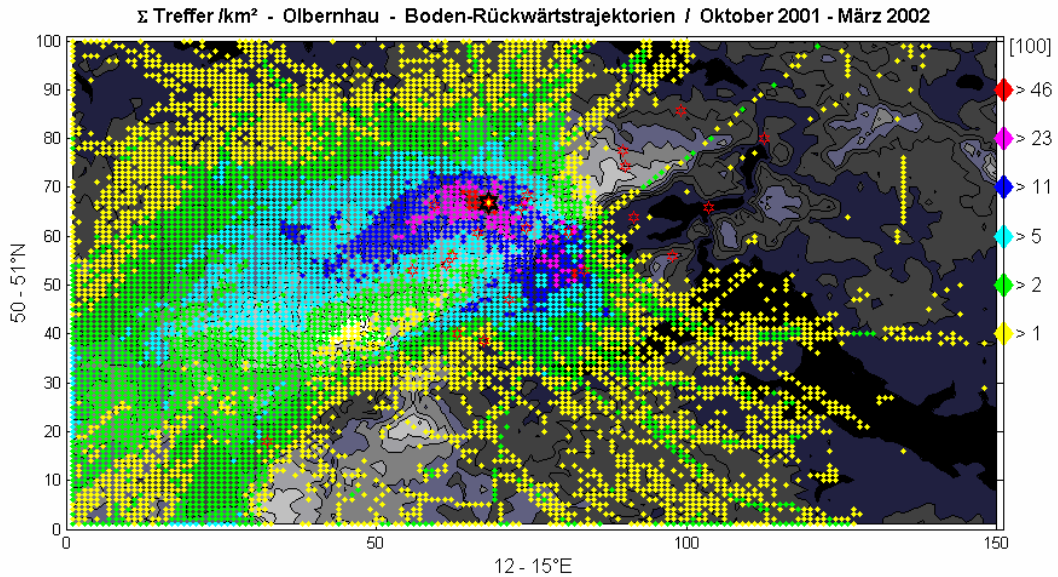


Abb. 3.1 Olbernhau – allgemeine Korrelation

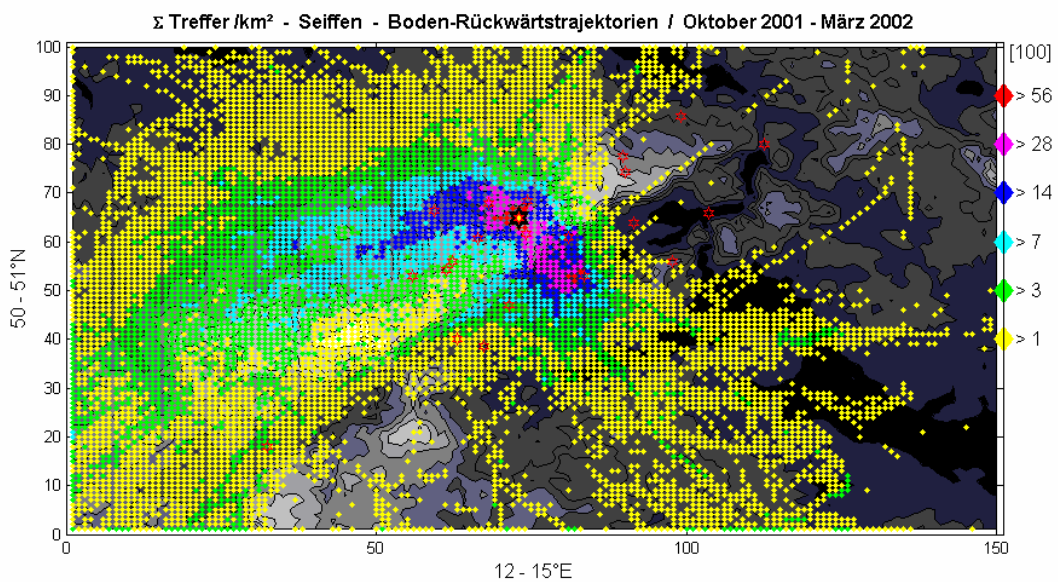


Abb. 3.2 Seiffen – allgemeine Korrelation

Rasterauswertungen der Trajektorien: Einzugsbereiche, bestimmt anhand der lokal summierten Bodentrajektorientreffer im 1km-Raster.

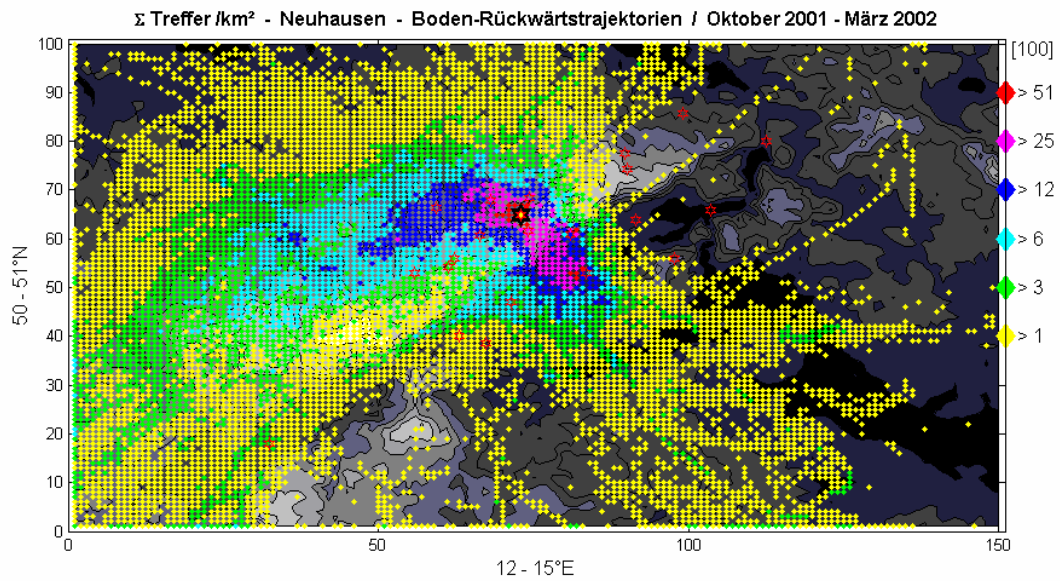


Abb. 3.3 Neuhausen – allgemeine Korrelation

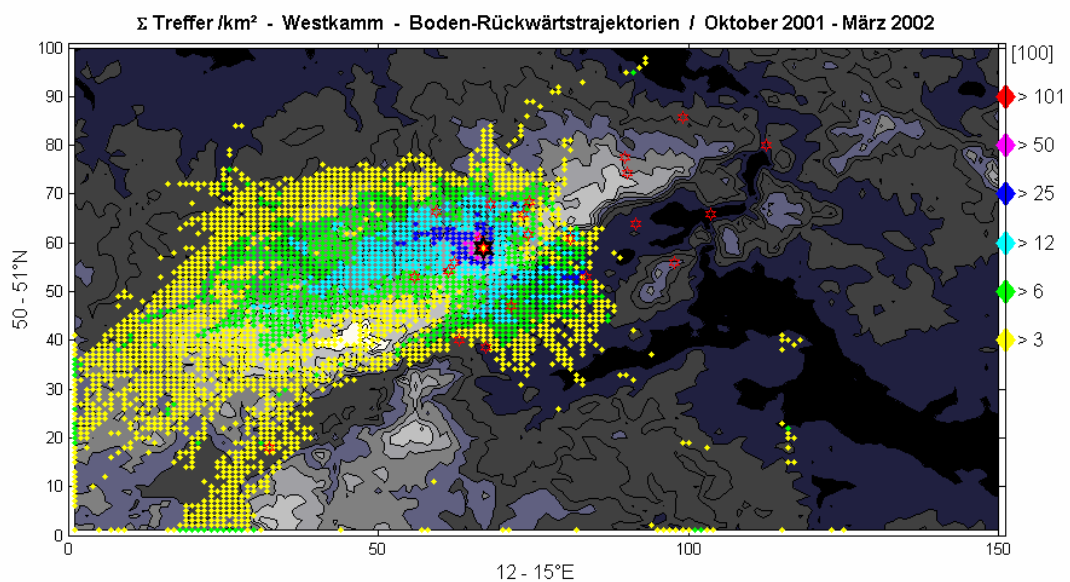


Abb. 3.4 Rudolice – allgemeine Korrelation

Rasterauswertungen der Trajektorien: Einzugsbereiche, bestimmt anhand der lokal summierten Bodentrajektorientreffer im 1km-Raster.

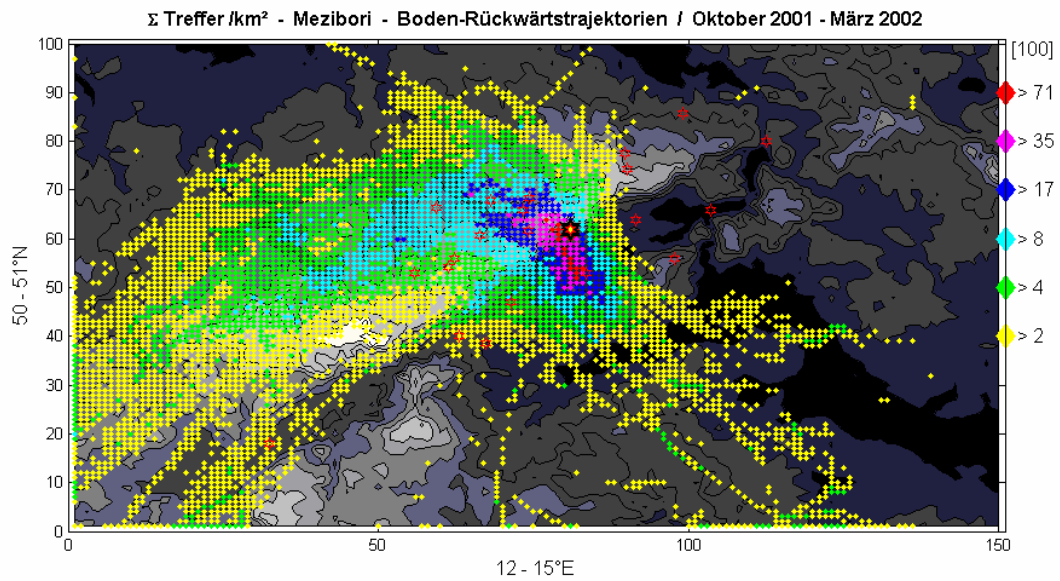


Abb. 3.5 Mezibori – allgemeine Korrelation

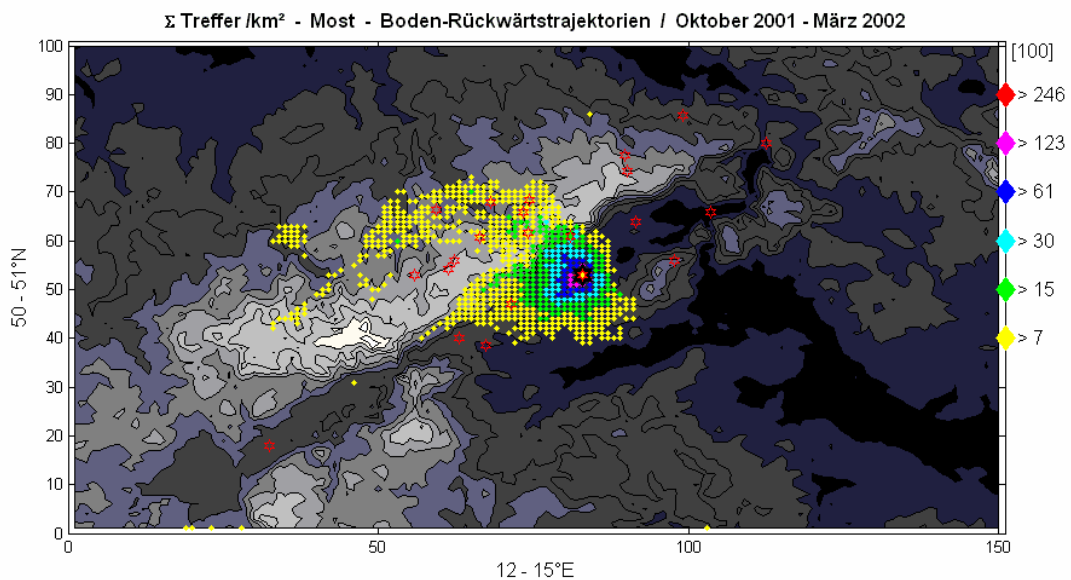


Abb. 3.6 Most – allgemeine Korrelation

## Anhang 4

Rasterauswertungen der Trajektorien: Benzol, SO<sub>2</sub>.  
Lokale Summierung der Immissionskonzentration am Startpunkt entlang der Bodentrajektorien im 1km Raster.

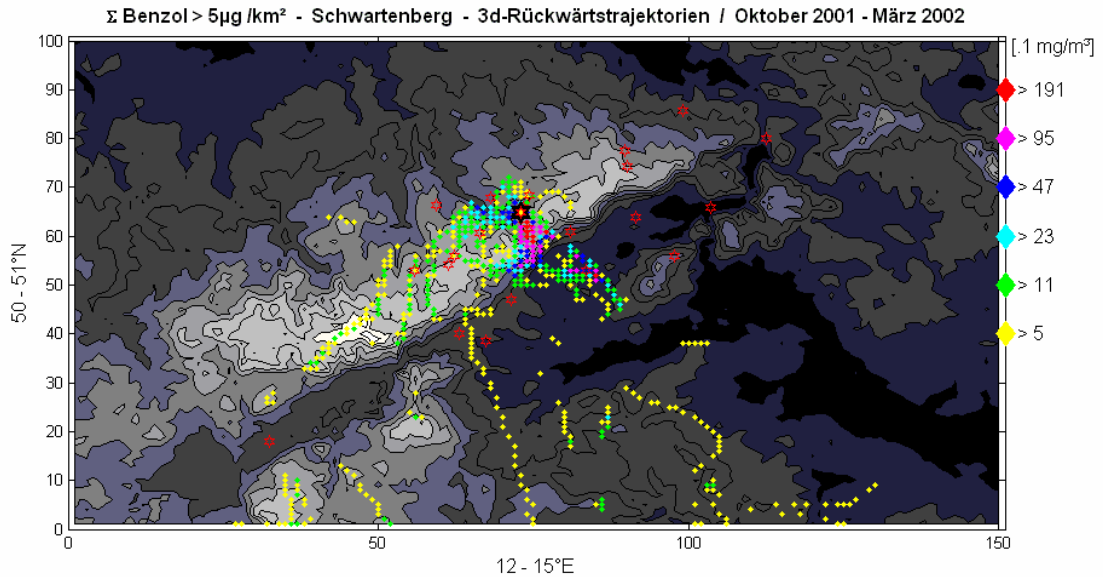


Abb. 4.1 Schwartenberg, Benzolkonzentrationen > 5 µgr

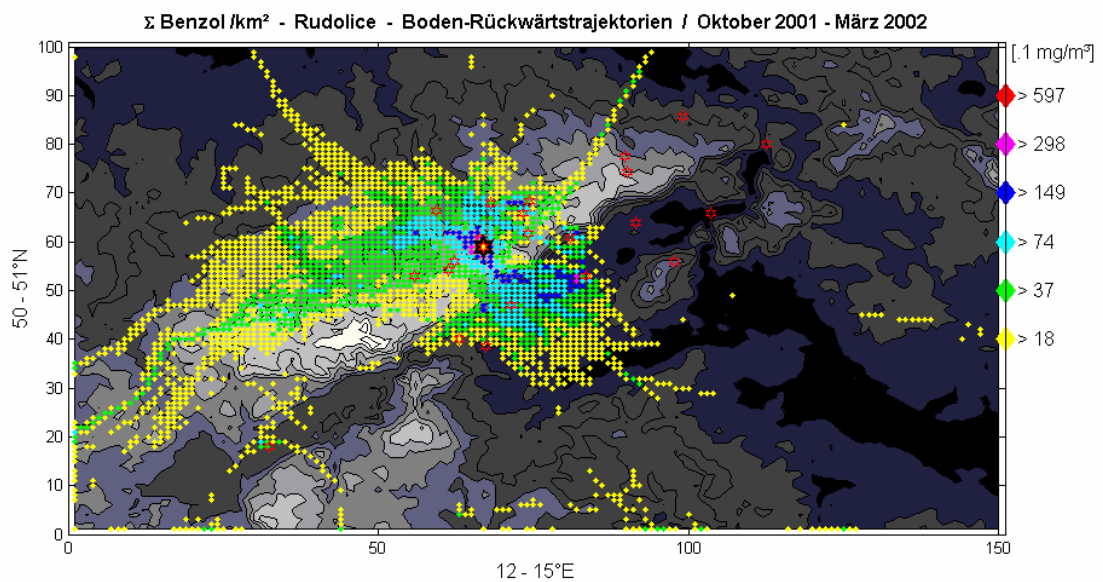


Abb. 4.2 Rudolice, Benzolkonzentrationen

Rasterauswertungen der Trajektorien: Benzol, SO<sub>2</sub>  
 Lokale Summierung der Immissionskonzentration am Startpunkt entlang  
 der Bodentrajektorien im 1km Raster.

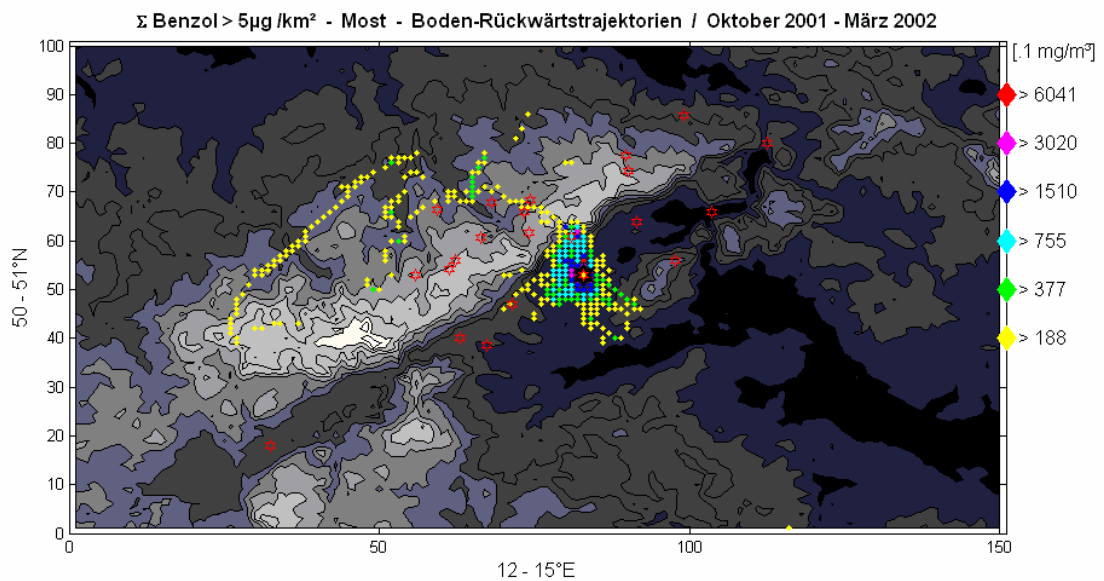


Abb. 4.3 Most, Benzolkonzentrationen > 5 µgr

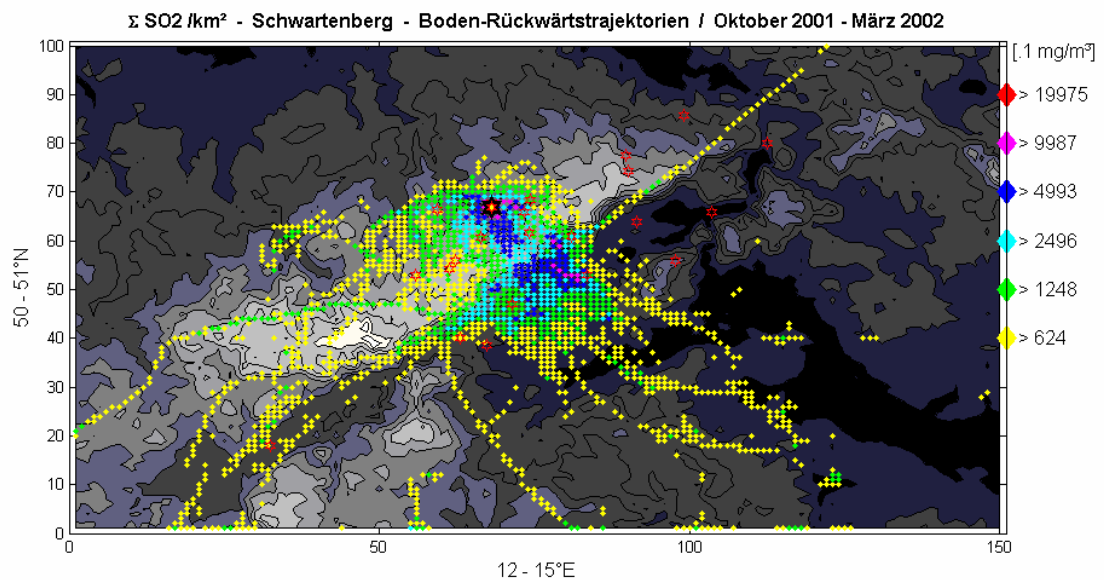


Abb. 4.4 Schwartenberg, SO<sub>2</sub>-Konzentrationen



Rasterauswertungen der Trajektorien: Benzol, SO<sub>2</sub>  
 Lokale Summierung der Immissionskonzentration am Startpunkt entlang  
 der Bodentrajektorien im 1km Raster für 4 Stationen.

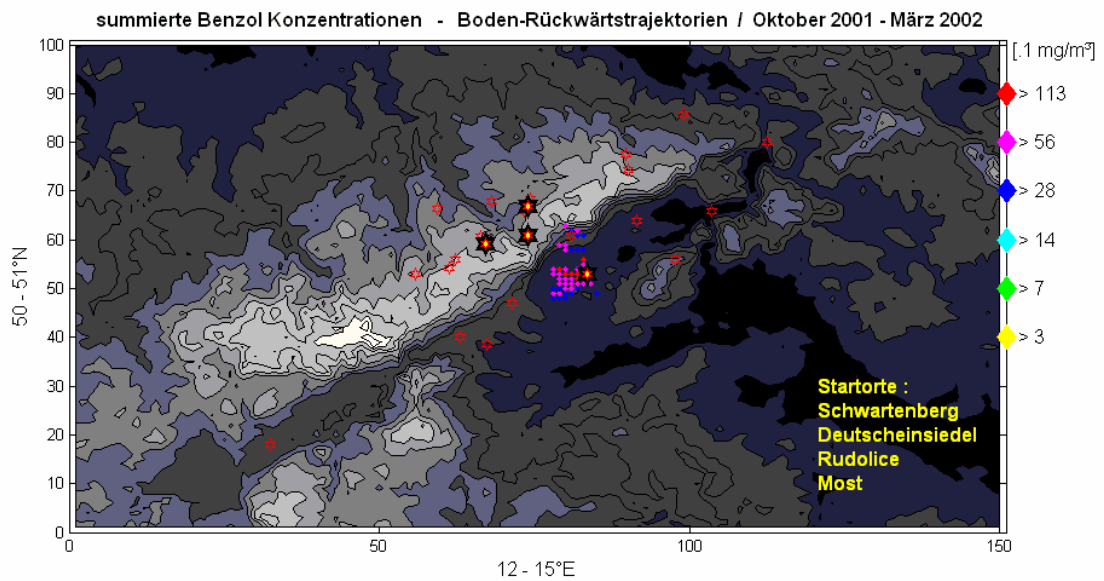


Abb. 4.5 Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most:  
 Summierte Benzolkonzentrationen der vier Stationen im  
 Raster

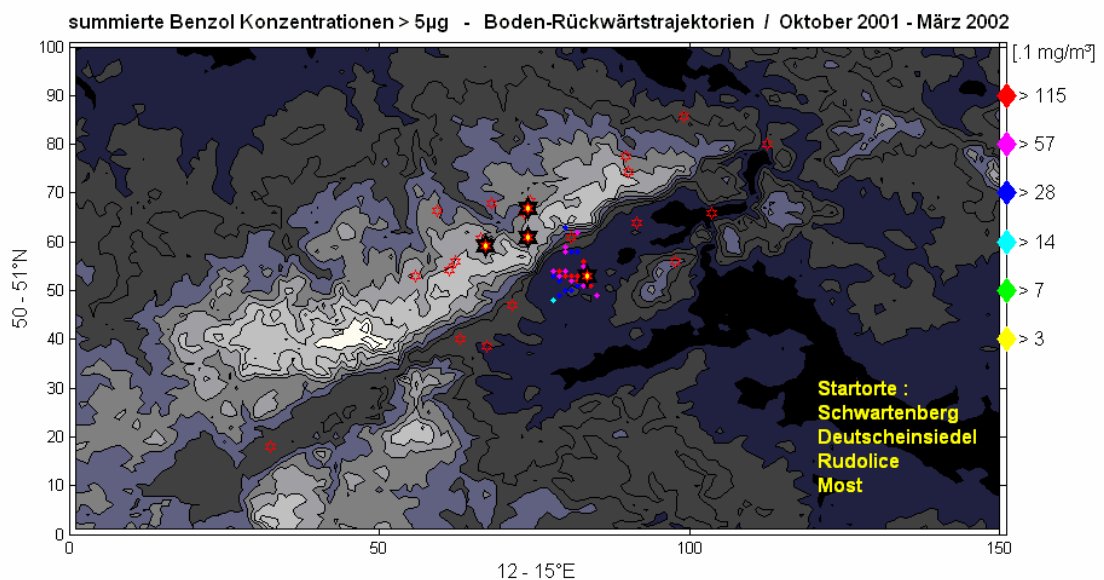


Abb. 4.6 Schwartenberg, Deutscheinsiedel, Rudolice und Most:  
 Summierte Benzolkonzentrationen > 5µgr der vier Stationen  
 im Raster

## Anhang 5

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der Bodentrajektorien im 1km Raster.

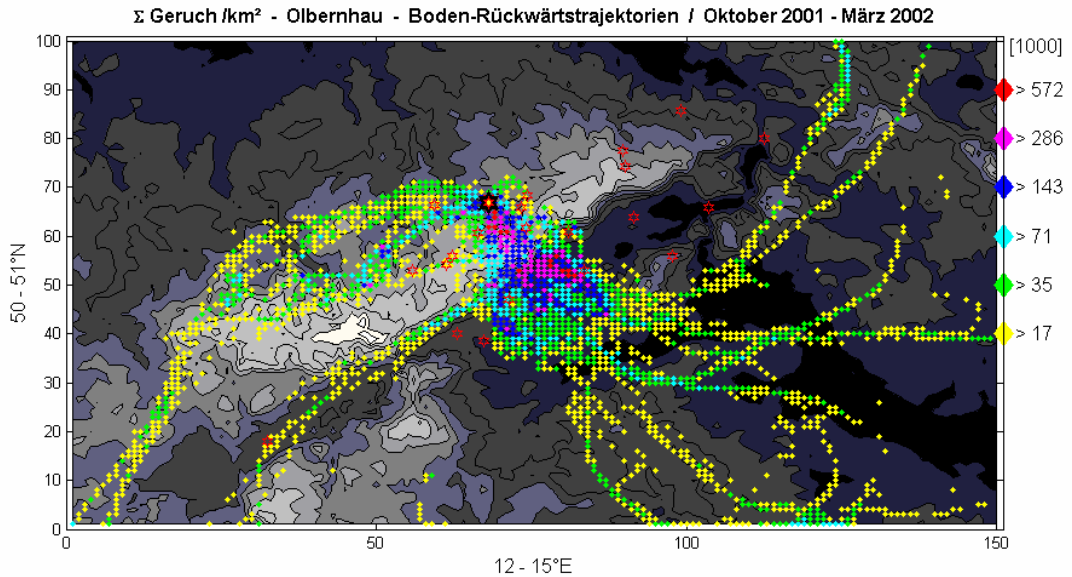


Abb. 5.1 Olbernhau, Gesamtgeruch

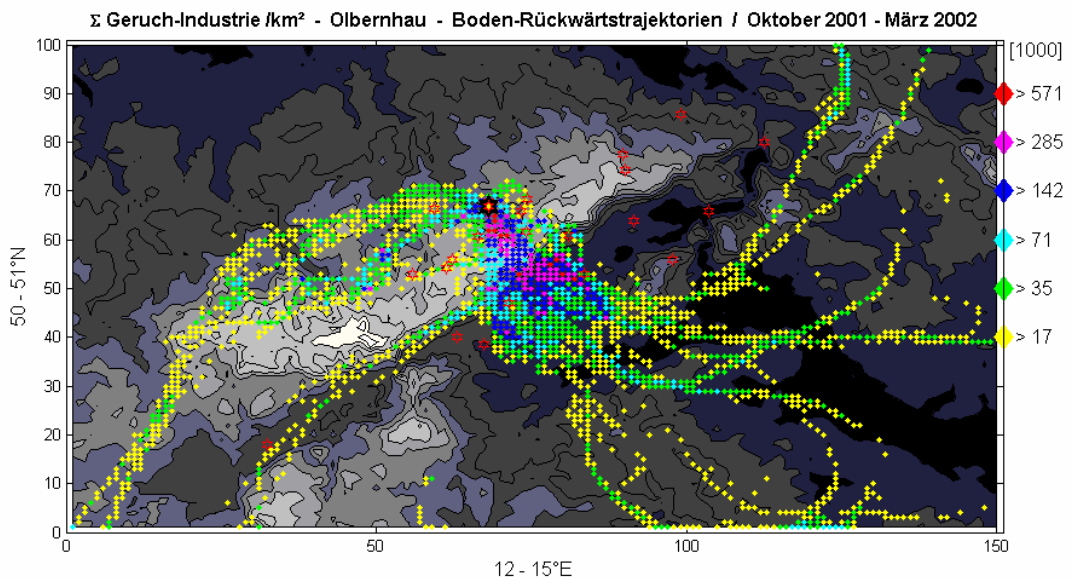


Abb. 5.2 Olbernhau, Geruch – Industrie

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

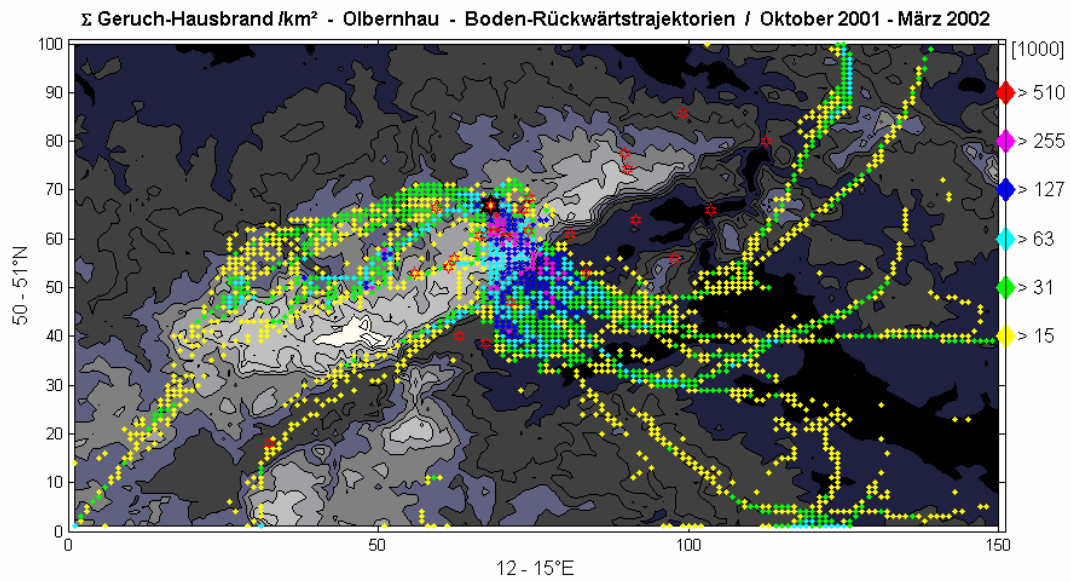


Abb. 5.3 Olbernhau, Geruch – Hausbrand

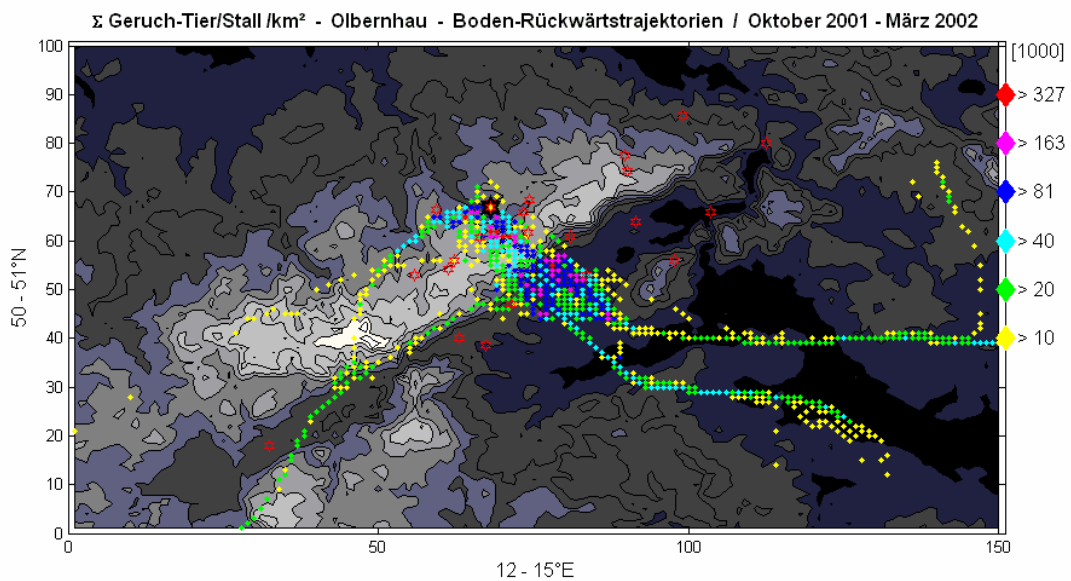


Abb. 5.4 Olbernhau, Geruch – Tier/Stall

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

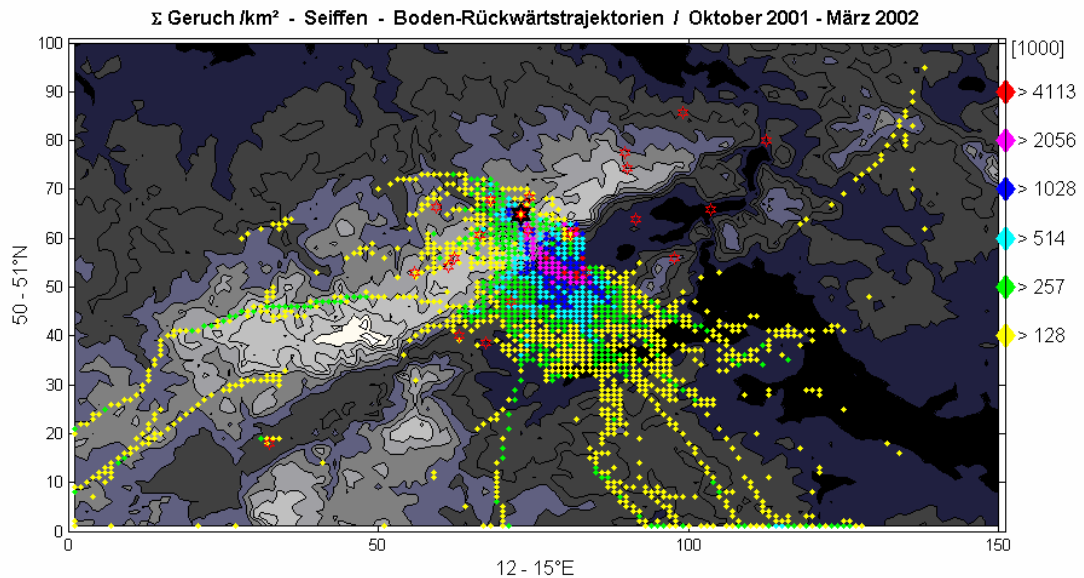


Abb. 5.5 Seiffen, Gesamtgeruch

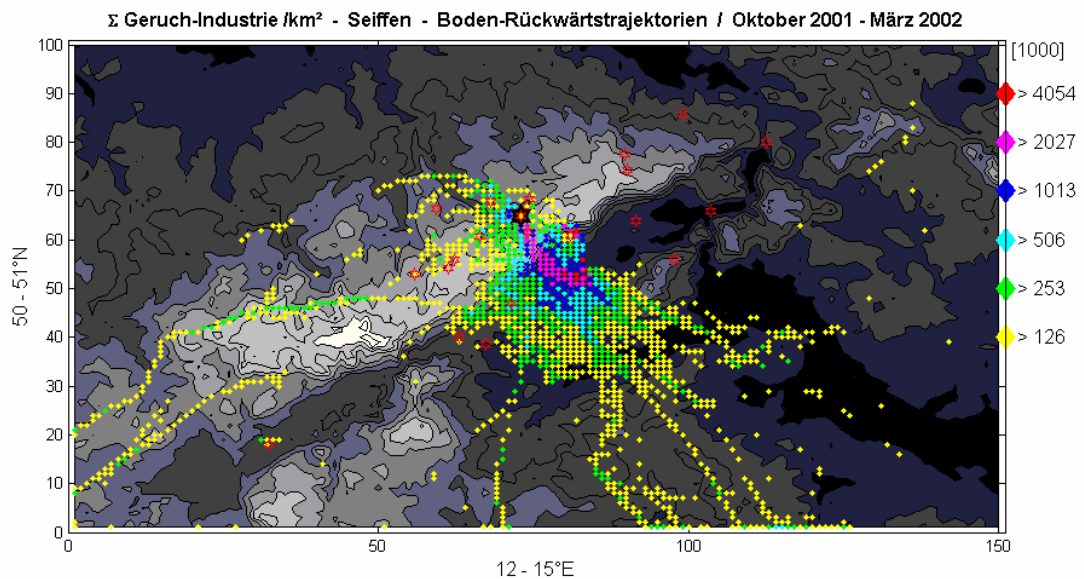


Abb. 5.6 Seiffen, Geruch – Industrie

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

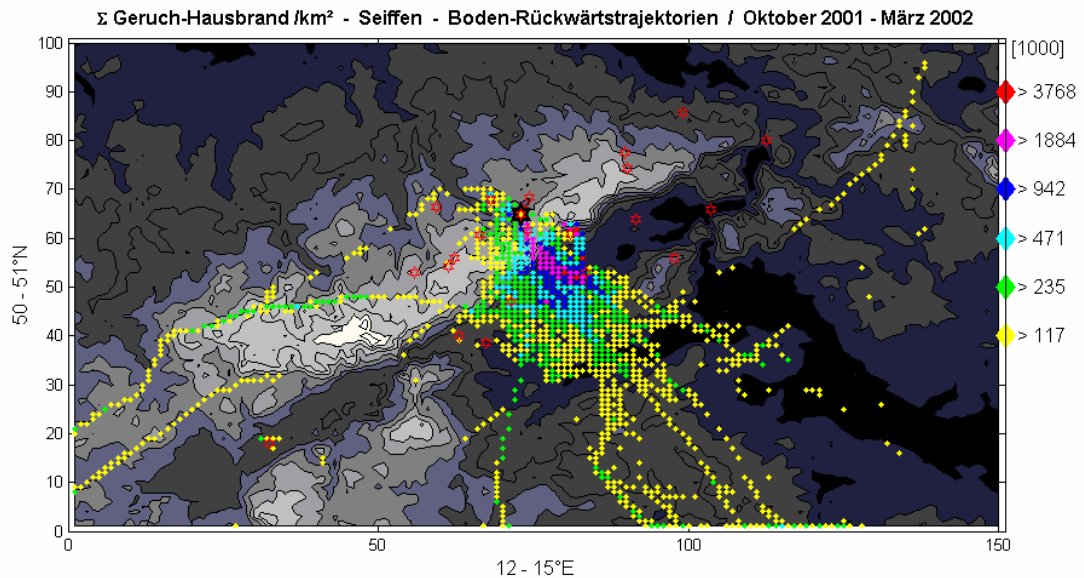


Abb. 5.7 Seiffen , Geruch – Hausbrand

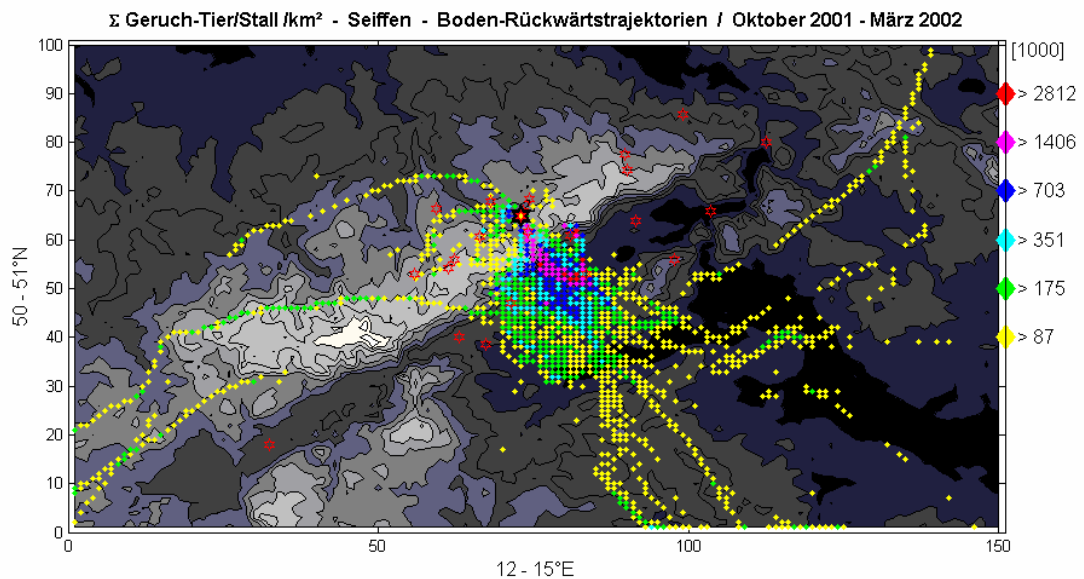


Abb. 5.8 Seiffen, Geruch – Tier/Stall

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

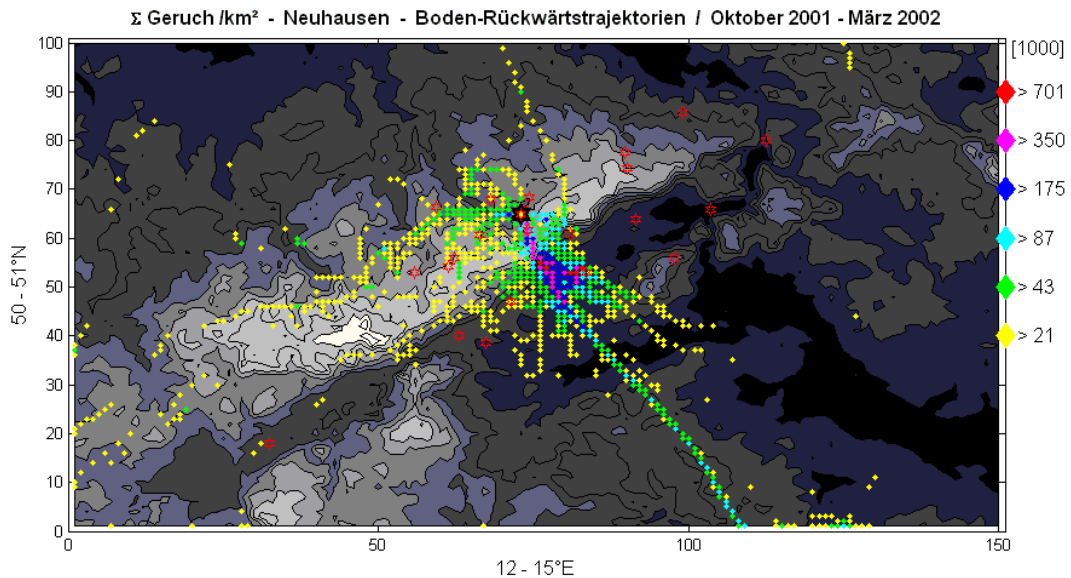


Abb. 5.9 Neuhausen, Gesamtgeruch

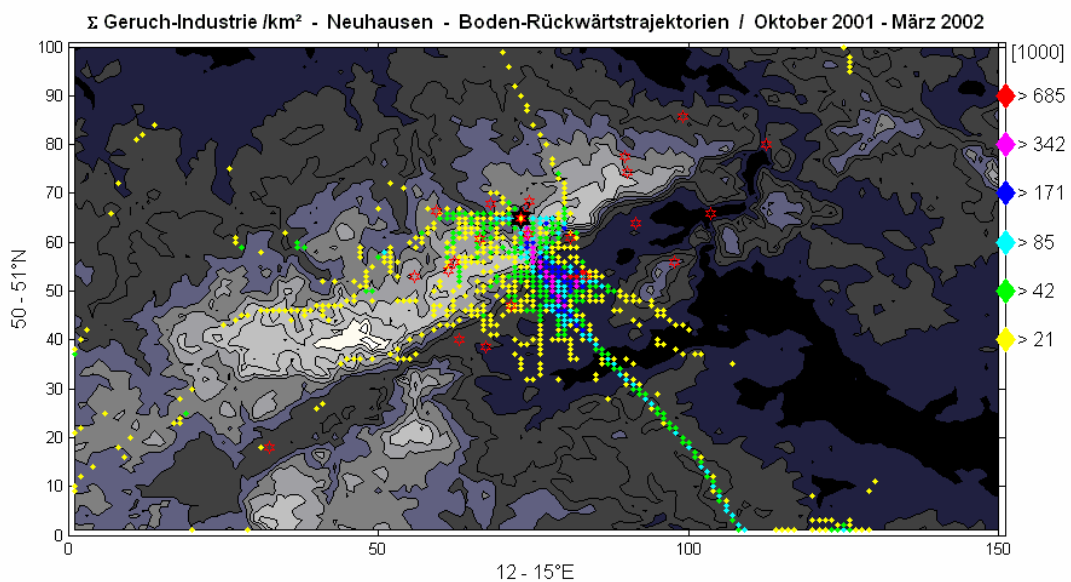


Abb. 5.10 Neuhausen, Geruch – Industrie

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

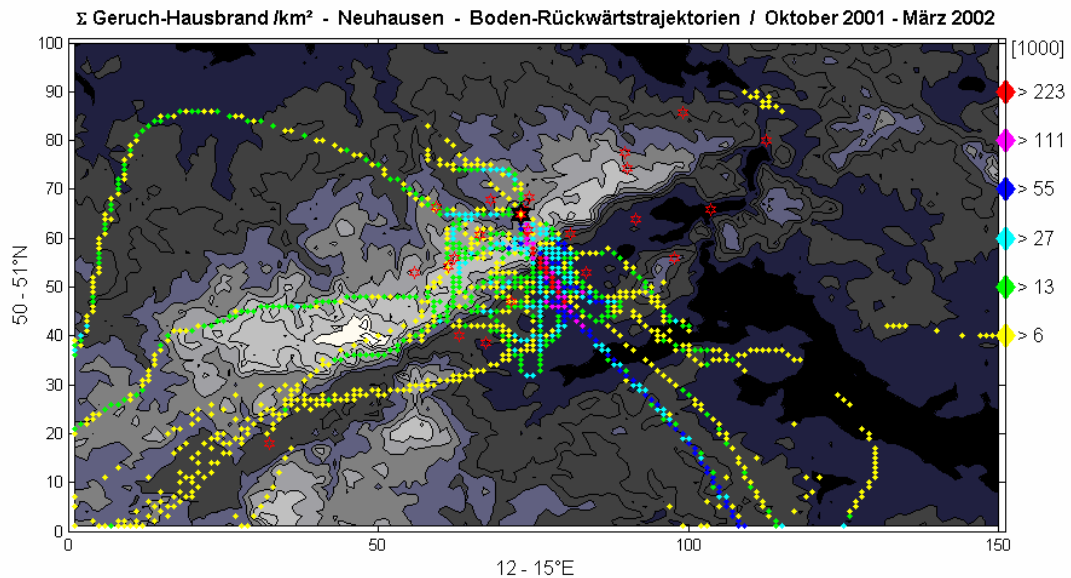


Abb. 5.11 Neuhausen, Geruch – Hausbrand

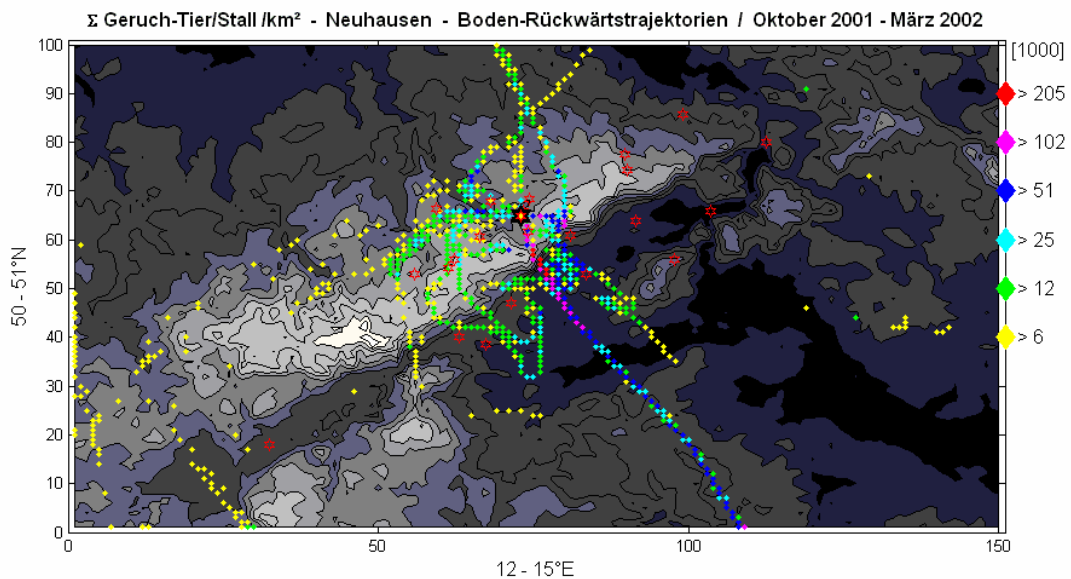


Abb. 5.12 Neuhausen, Geruch – Tier/Stall

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

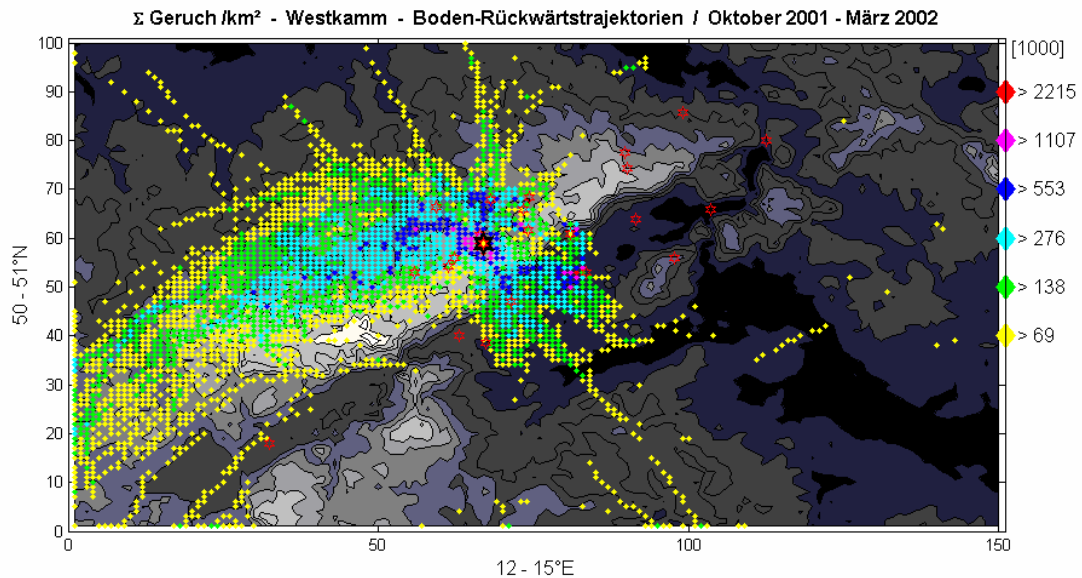


Abb. 5.13 Kammgebiet-West, Gesamtgeruch

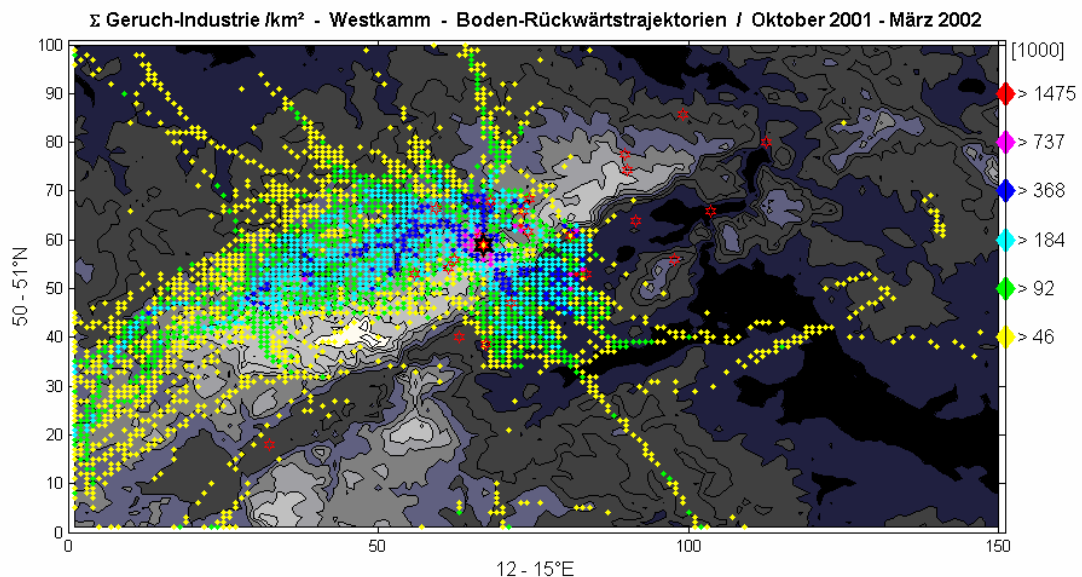


Abb. 5.14 Kammgebiet-West, Geruch – Industrie



Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

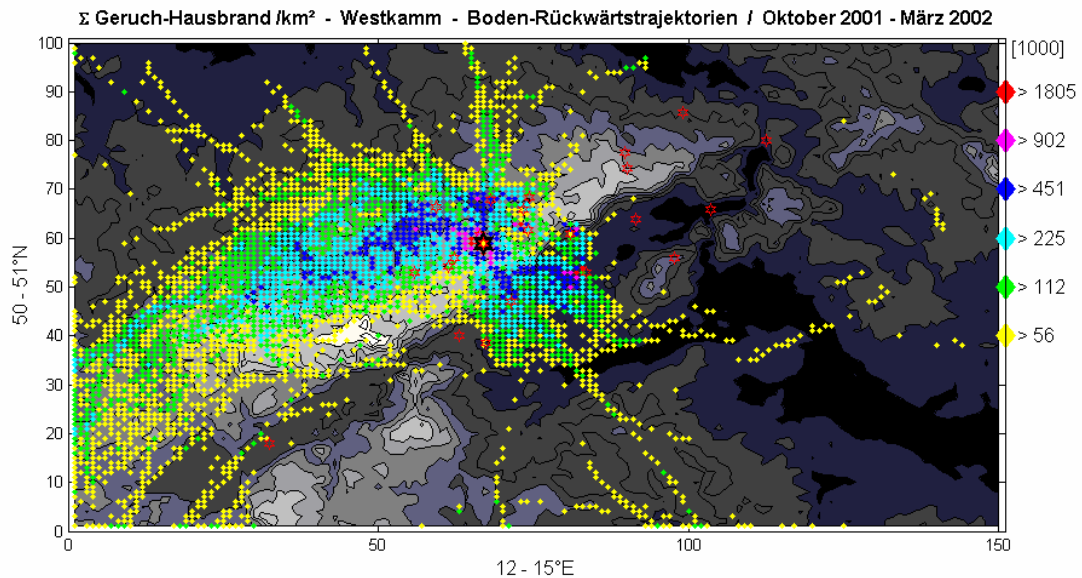


Abb. 5.15 Kammgebiet-West, Geruch – Hausbrand

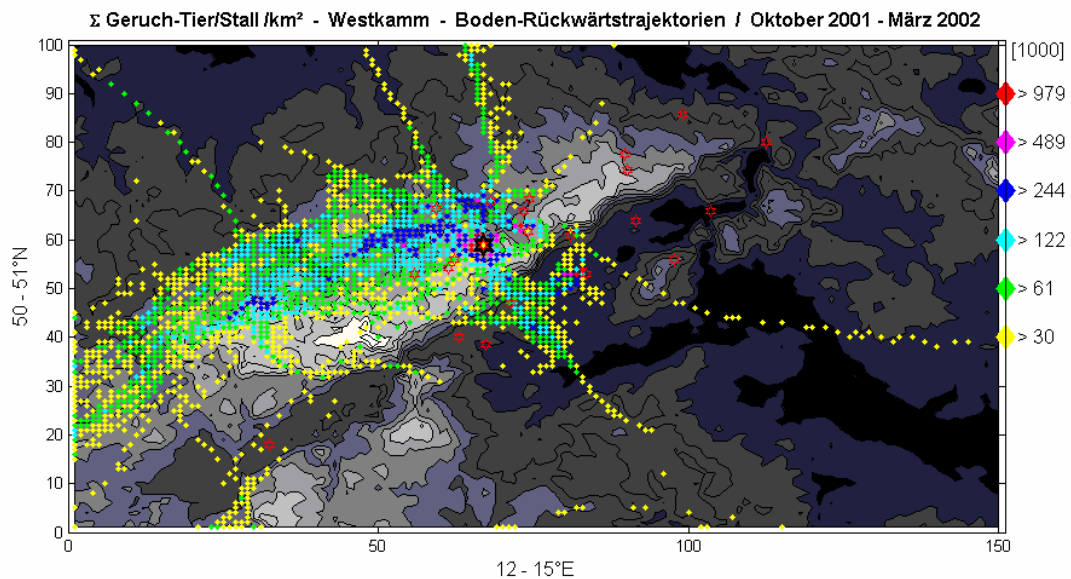


Abb. 5.16 Kammgebiet-West, Geruch – Tier/Stall

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

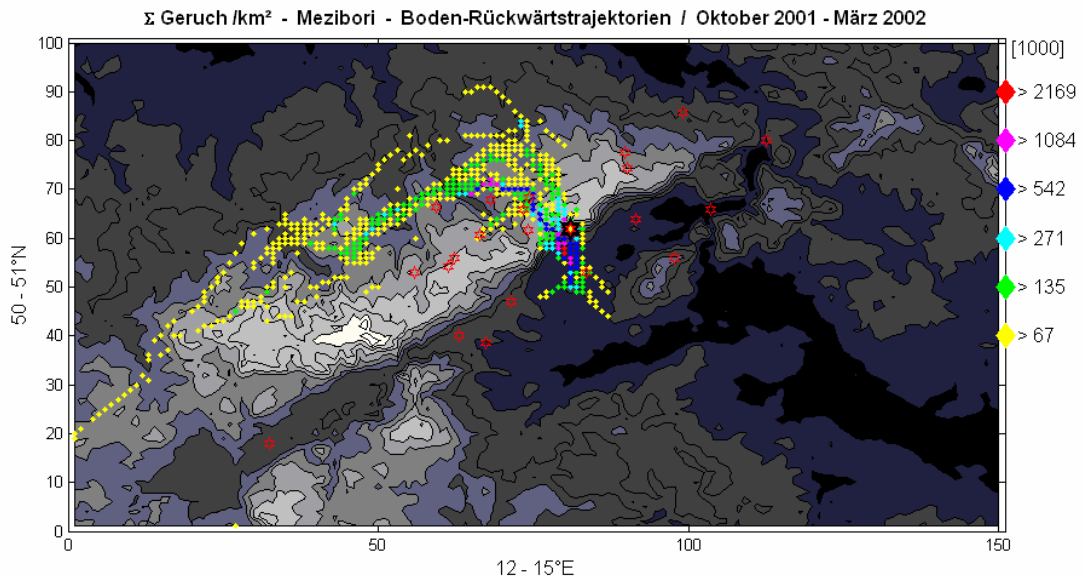


Abb. 5.17 Mezibori, Gesamtgeruch

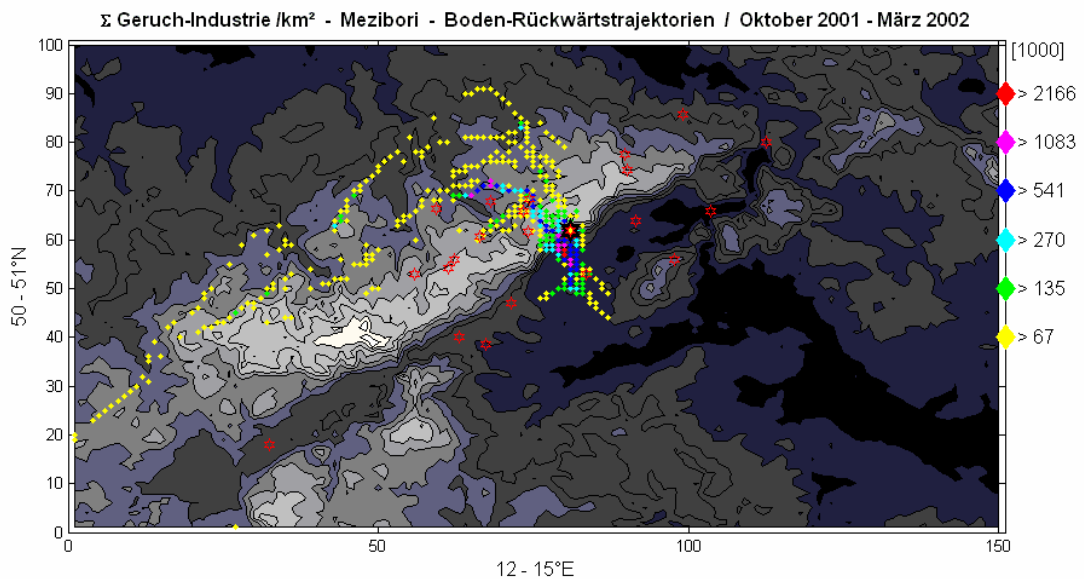


Abb. 5.18 Mezibori, Geruch – Industrie

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

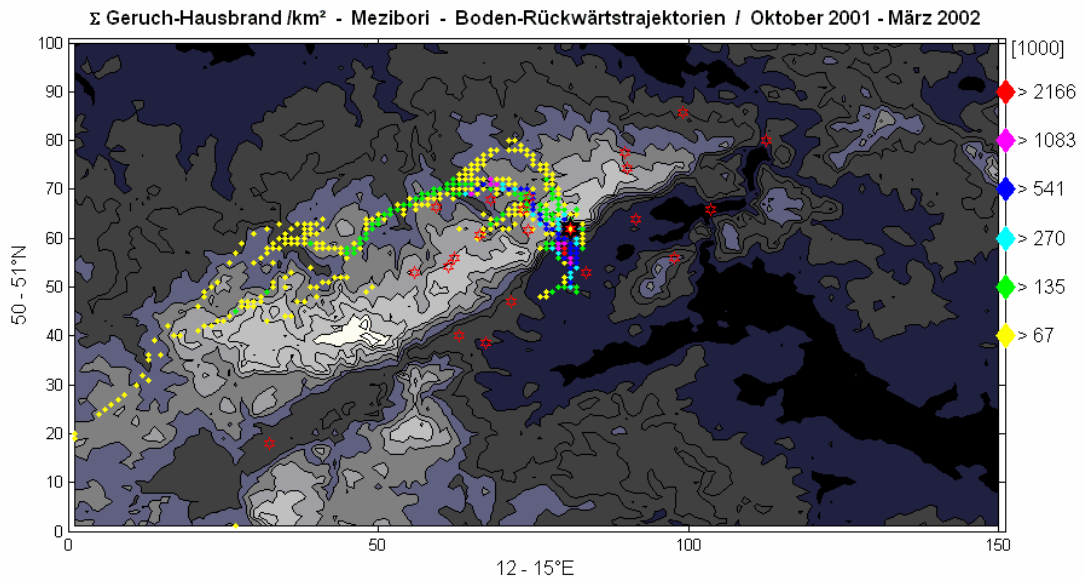


Abb. 5.19 Mezibori, Geruch – Hausbrand

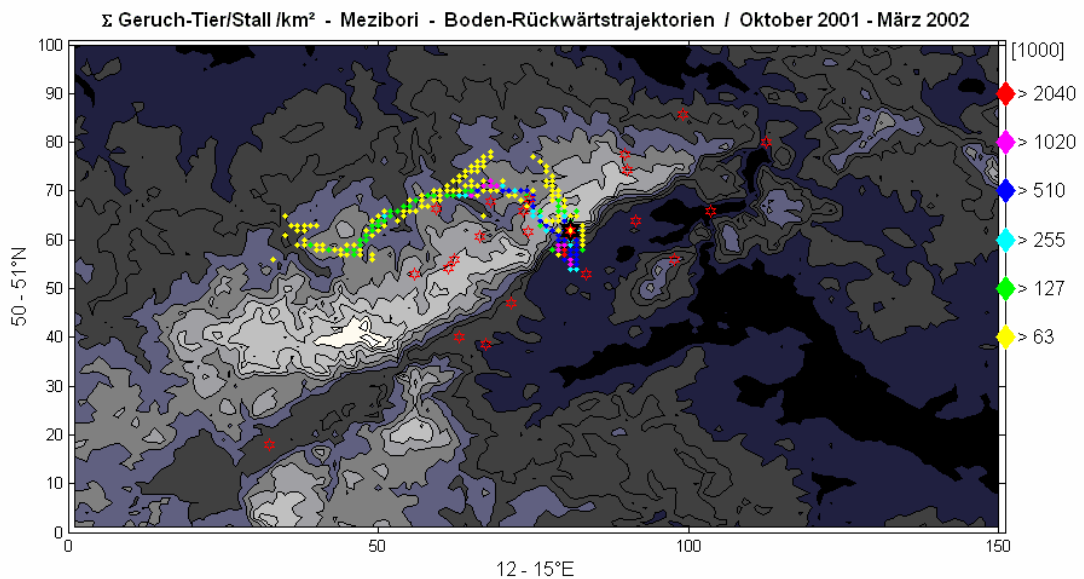


Abb. 5.20 Mezibori, Geruch – Tier/Stall

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

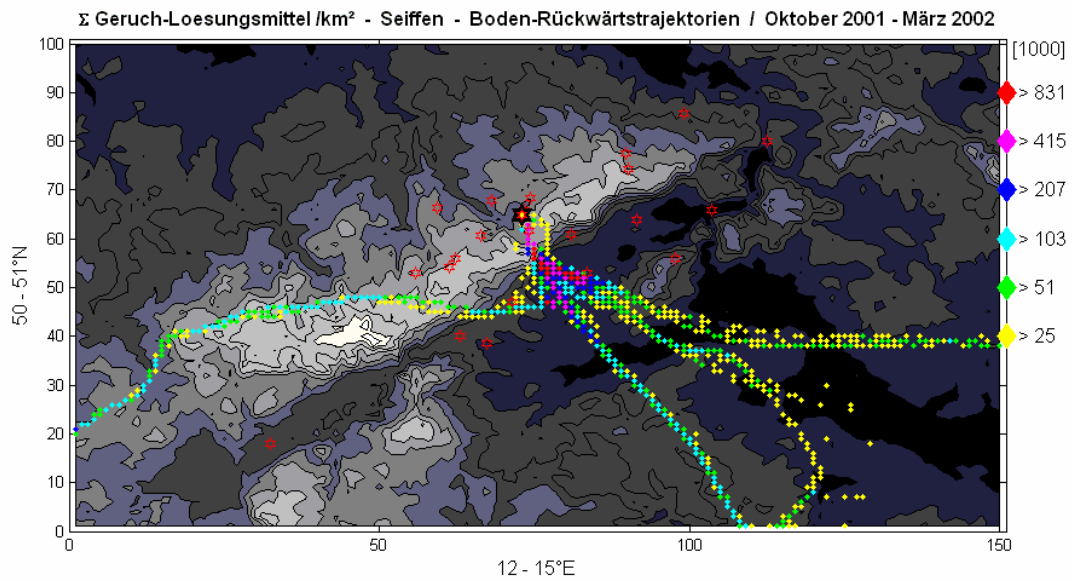


Abb. 5.21 Seiffen, Geruch – Lösungsmittel

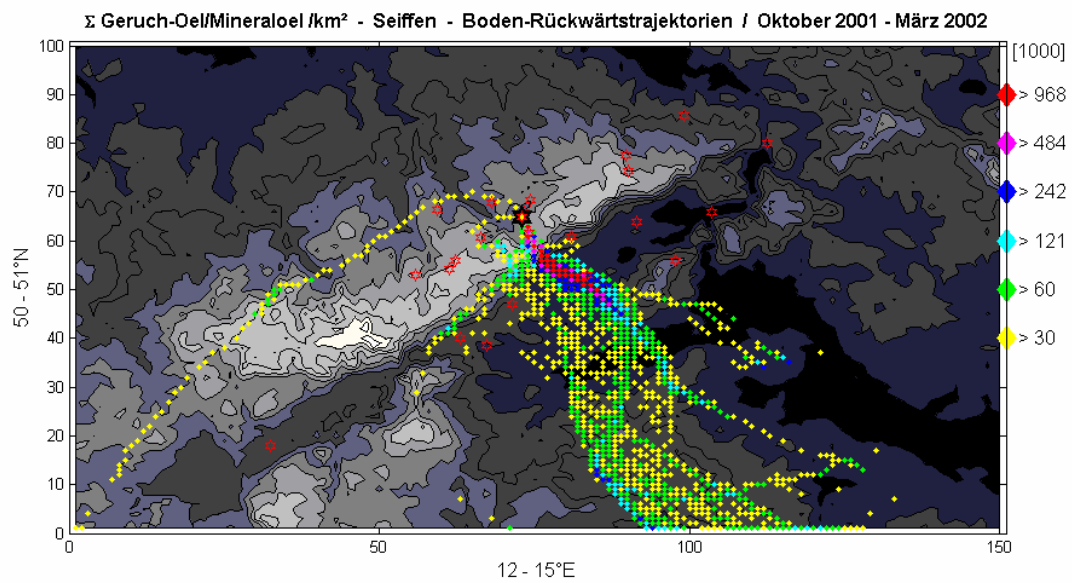


Abb. 5.22 Seiffen, Geruch – Öl/Mineralöl

Rasterauswertungen der Trajektorien: Geruch.  
 Lokale Summierung der Geruchsgröße am Startpunkt entlang der  
 Bodentrajektorien im 1km Raster.

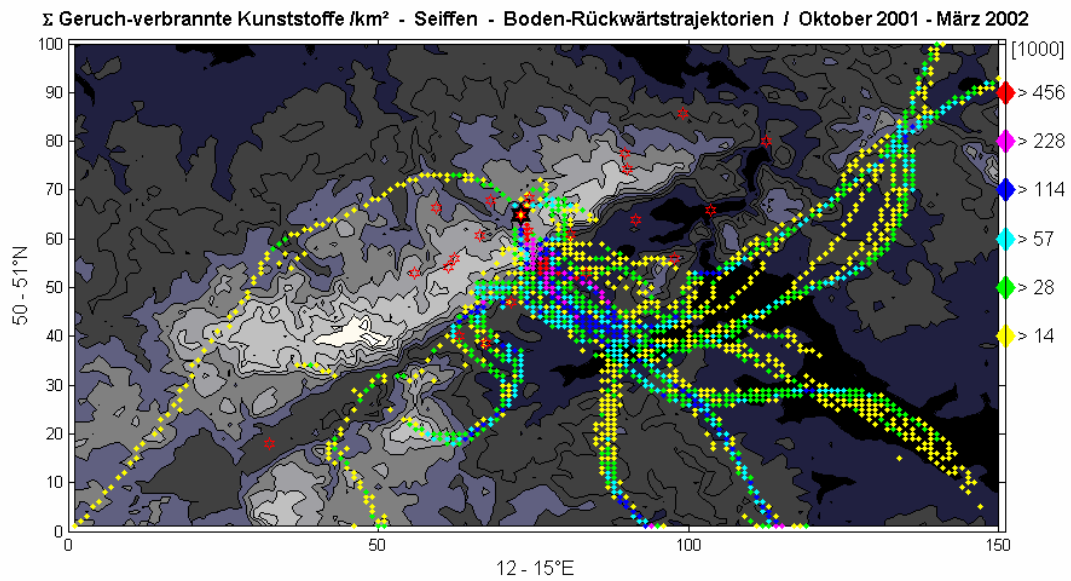


Abb. 5.23 Seifen, Geruch – verbrannte Kunststoffe

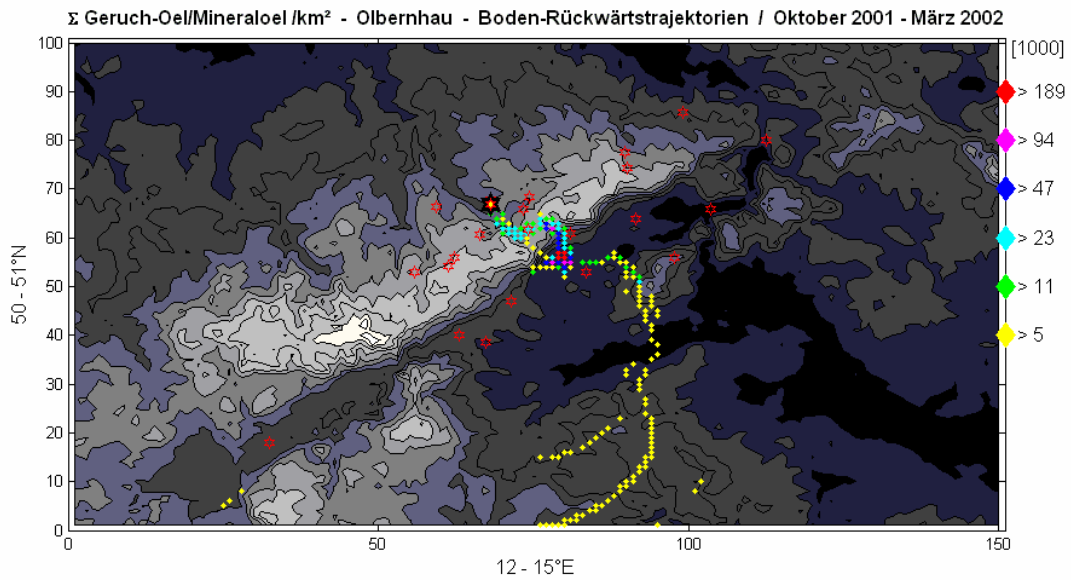


Abb. 5.24 Olbernhau, Geruch – Öl/Mineralöl