

SO₂-Statuserhebung im Burgenland 2016

Überschreitung des IG-L Grenzwertes

Auftraggeber:

Amt der Burgenländischen Landesregierung
Abt.5/III - Natur- und Umweltschutz, Luftgütemesszentrale
Europaplatz 1, 7000 Eisenstadt

Durchführung:

ZAMG, Fachabteilung Umwelt
Mag. Claudia Flandorfer
ZAMG, Fachabteilung Chemische Wettervorhersage
Mag. Marcus Hirtl
MMag. Dr. Christian Maurer

In Zusammenarbeit mit dem AIT (Austrian Institute of Technology)

Mag. Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Orthofer

Wien, am 23. November 2016

Zahl: 2016/UM/001173

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	5
2.1	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	5
2.2	Meteorologische Messungen	6
2.3	Schwefeldioxid – SO ₂	7
2.4	SO ₂ -Grenzwerte und Immissionsituation im Burgenland	8
2.5	Emissionskataster - Burgenland und Niederösterreich.....	8
2.5.1	<i>Datengrundlage</i>	8
2.5.2	<i>Harmonisierung der Emissionsdaten</i>	10
2.5.3	<i>Untersuchungsgebiet</i>	10
2.5.4	<i>SO₂-Emittenten</i>	11
2.5.5	<i>Zeitliche Disaggregation der Emissionsdaten - Methodik</i>	13
2.6	EEA Large Combustion Database	14
2.6.1	<i>Datengrundlage</i>	14
2.6.2	<i>Untersuchungsgebiet</i>	15
2.6.3	<i>SO₂-Emittenten</i>	15
2.7	Modellierung	19
2.7.1	<i>Ausbreitungsmodell FLEXPART</i>	19
2.7.2	<i>Chemisches Transportmodell WRF-Chem</i>	20
2.7.3	<i>INCA</i>	21
3	Analyse der SO ₂ -Grenzwertüberschreitungen	22
3.1	SO ₂ -Grenzwertüberschreitungen am 5. und 6. Jänner 2016.....	22
3.1.1	<i>Immissionssituation</i>	22
3.1.2	<i>Meteorologie</i>	22
3.1.3	<i>Emissionsdaten</i>	27
3.1.4	<i>Modellierung</i>	31
3.1.5	<i>Zusammenfassende Analyse der SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 5. und 6. Jänner 2016</i> ..	35
3.2	SO ₂ -Grenzwertüberschreitungen am 29. Februar 2016.....	37
3.2.1	<i>Immissionssituation</i>	37
3.2.2	<i>Meteorologie</i>	37
3.2.3	<i>Emissionsdaten</i>	43
3.2.4	<i>Modellierung</i>	46
3.2.5	<i>Zusammenfassende Analyse der SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 29. Februar 2016</i>	50
4	Zusammenfassung.....	53
5	Literatur	56

1 Einleitung

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) wurde gemeinsam mit dem Austrian Institute of Technology (AIT) von dem Amt der Burgenländischen Landesregierung beauftragt, für die SO₂-Grenzwertüberschreitungen, welche am 5. und 6. Jänner 2016 sowie am 29. Februar 2016 an der Station Kittsee gemessen wurden, gem. §8 Immissionsschutzgesetz (IG-L) eine Statuserhebung durchzuführen.

Die meteorologische Situation wird anhand verschiedenster meteorologischer Messungen und Analysekarten beschrieben. Zur Bestimmung der potentiellen Quellen, welche die SO₂-Überschreitungen verursacht haben, werden verschiedene Modellierwerkzeuge verwendet. Anhand österreichischer Emissionsdaten und der Large Combustion Plant (LCP) Datenbank werden SO₂-Quellen in der Umgebung von Kittsee auf österreichischer Seite sowie in den angrenzenden Nachbarländern analysiert

Die Uhrzeit ist, wenn nicht anders angegeben, in MEZ (Mitteleuropäische Zeit, UTC+1), angegeben.

2 Grundlagen

2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Die Messstation Kittsee befindet sich im äußersten Nordosten des Burgenlands, etwa 200 m von der Staatsgrenze zur Slowakei entfernt (Abbildung 1). Der Randbereich des Stadtteils Petržalka von Bratislava liegt etwa 1 km östlich von der Messstation.

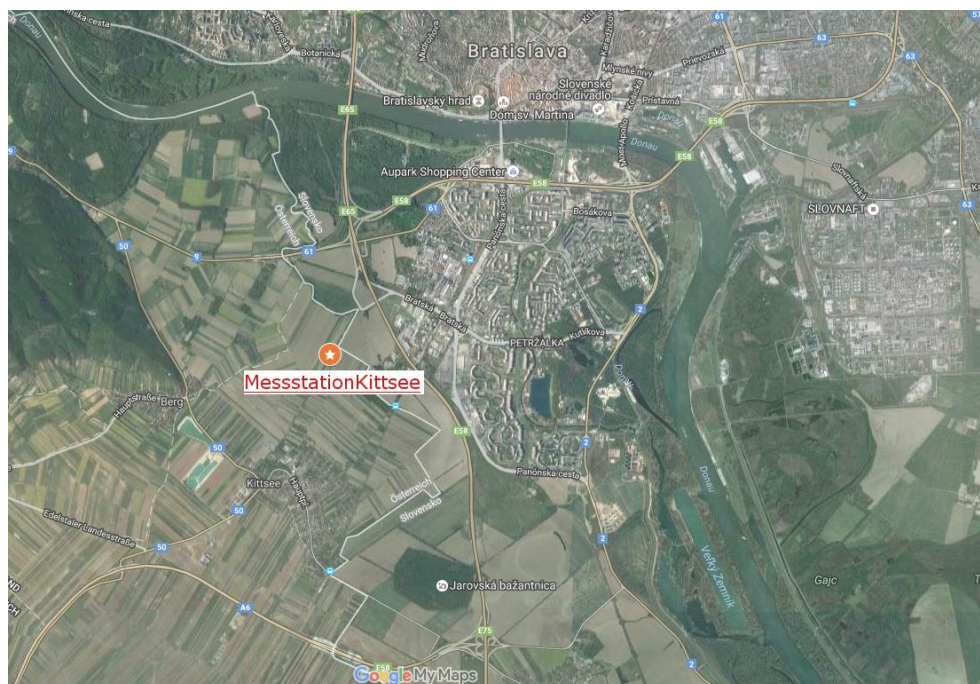


Abbildung 1 Lage und lokale Umgebung der Immissionsmessstation Kittsee (Quelle: Google Maps)

2.2 Meteorologische Messungen

Zur Beurteilung der meteorologischen Situation während und vor den Messungen der SO₂-Überschreitungen in Kittsee werden verschiedenste meteorologische Messungen herangezogen:

Die Luftqualitätsmessstationen im Burgenland und im südöstlichen Niederösterreich liefern sowohl Messungen der SO₂-Konzentrationen als auch meteorologische Parameter. Um Informationen über die vertikale Temperaturschichtung und die Windverhältnisse in der Grenzschicht zu erhalten, werden Messungen des SODARs am Flughafen Wien-Schwechat, Messungen des Ceilometers und der Radiosonde in Wien Hohe Warte und die Radiosonden-Messungen in Budapest herangezogen.

In Abbildung 2 sind die Standorte der Stationen und Fernerkundungsmessinstrumente eingezeichnet.

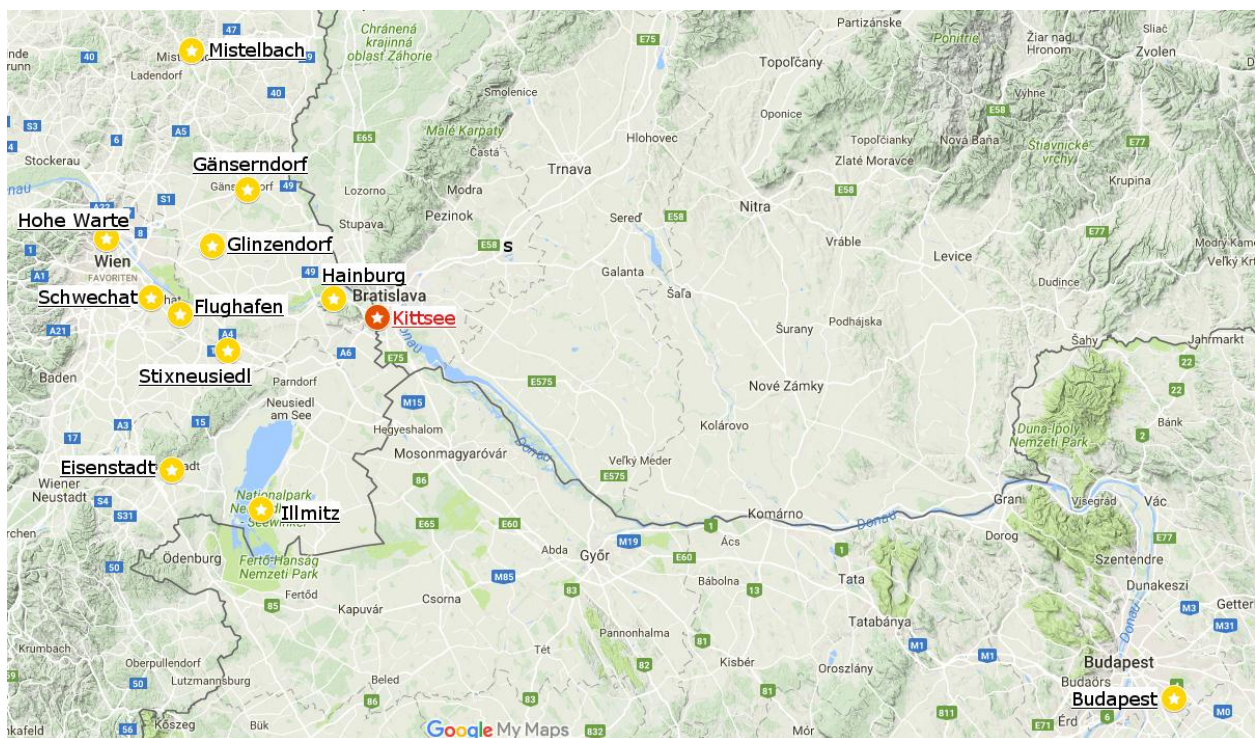


Abbildung 2 Lage der Luftgütemessstationen der Länder Burgenland und Niederösterreich, des SODARs am Flughafen Wien-Schwechat, des Ceilometers und der Radiosonde in Wien Hohe Warte und der Radiosonde in Budapest (Quelle: Google Maps)

Die Radiosonde wird in Wien Hohe Warte und in Budapest 2x täglich um etwa 23:30 UTC und 11:30 UTC gestartet. Der Aufstiegszeitpunkt ist so gewählt, dass die Radiosonde die größtmögliche Höhe um etwa 0 UTC bzw. 12 UTC erreicht. Radiosonden liefern diverse meteorologische Messdaten, wie Windrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur, Luftdruck und relative Feuchte bis in eine Höhe von 30 km. Die maximale Messhöhe ist abhängig von den meteorologischen Bedingungen.

Mit SODAR- („Sonic Detection and Ranging“) Messgeräten ist es möglich, den dreidimensionalen Wind in der Grenzschicht zu messen. Die Antenne des SODARs dient als Sende- und Empfangsanlage für Schallwellen (1,5-3 kHz), die an Turbulenzelementen der Atmosphäre zurückgestreut werden. Die

Frequenzverschiebung des Signals aufgrund des Dopplereffekts dient zur Bestimmung des dreidimensionalen Windes. (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/umwelt/produkte-und-services/messungen/rass>).

Mit einem Ceilometer können Wolkenhöhen detektiert und vertikale Aerosolverteilungen gemessen werden. Das Ceilometer sendet kurze Laser-Lichtimpulse vertikal in die Atmosphäre aus, welche von Aerosolen zurückgestreut werden. Aus der Laufzeit und der Intensität des zurückgestreuten Lichtsignals kann auf Wolkenhöhen und die vertikale Aerosolverteilung geschlossen werden. Die Aerosolschichthöhen dienen als Grundlage für die Berechnung von Mischungshöhen-Zeitreihen. Die Mischungshöhe ist jener vertikaler Bereich, wo, vom Boden aus gesehen, vertikale Durchmischung von Aerosolen und Schadstoffen stattfindet (<http://www.zamg.ac.at/cms/de/umwelt/produkte-und-services/messungen/ceilometer>).

2.3 Schwefeldioxid – SO₂

Schwefeldioxid (SO₂) ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, welches hauptsächlich bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl entsteht. In hohen Konzentrationen ist das Gas für Mensch, Tiere und Pflanzen schädlich (<http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/luft/luftschaedstoffe/so2/>).

Hohe Belastungswerte treten vor allem im Winter bei niedrigen Temperaturen aufgrund der erhöhten Emissionen bei heizungsbedingten Verbrennungsprozessen auf. Bei stabilen Ausbreitungsbedingungen (Inversionswetterlagen) kann es durch die unterbundenen Austauschprozesse in der Atmosphäre zur erhöhten Anreicherung von SO₂ in der unteren Luftschicht kommen. Im Sommer sind hohe Belastungswerte meist auf Ferntransporte oder vertikale Austauschprozesse zurückzuführen (<http://www.umad.de/infos/wirkungen/schwefeldioxid.htm>).

SO₂ hat eine Lebensdauer von etwa 1 bis 4 Tagen (Roedel, 2000) und kann somit in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert werden. Beim Ausbruch des isländischen Vulkans Bardarbunga wurde im Jahr 2014 SO₂ mit kräftigem Nordwestwind bis nach Mitteleuropa transportiert. Die stark erhöhten SO₂-Konzentrationen wurden an zahlreichen österreichischen Luftgütemessstationen registriert (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/umwelt/news/hohe-so2-in-teilen-oesterreichs-durch-isländischen-vulkan>).

In der Atmosphäre oxidiert SO₂ teilweise zu Schwefelsäure (H₂SO₄) und ist dadurch an der Entstehung des sauren Regens beteiligt. Nach einem Höhepunkt der Belastung in den 1980er und 1990er-Jahren ist die Belastung durch sauren Regen v. a. durch den Einbau von Reinigungsanlagen in den Industrieanlagen in Mitteleuropa inzwischen deutlich zurückgegangen (Geo Themenlexikon, 2008).

2.4 SO₂-Grenzwerte und Immissionssituation im Burgenland

Die SO₂-Grenzwerte sind nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, 2010) folgendermaßen definiert: Der Halbstundenmittelgrenzwert ist mit 200 µg/m³ festgesetzt, dieser darf jedoch, ohne als Überschreitung gewertet zu werden, an 3 Halbstunden pro Tag überschritten werden. Pro Jahr darf dieser Wert maximal 48-mal, bis zu einem Wert von maximal 350 µg/m³, überschritten werden, um nicht als Grenzwertüberschreitung gezählt zu werden. Der Tagesmittelgrenzwert beträgt 120 µg/m³.

Im Jahresbericht zur Luftgütemessung im Burgenland (Amt der Burgenländischen Landesregierung, 2016) ist die SO₂-Immissionssituation im Jahr 2015 für das Burgenland beschrieben: Im Jahr 2015 kam es zu keiner Überschreitung des Grenzwerts für den SO₂-Halbstundenmittelwert. An den meisten Stationen lagen die Kurzzeitwerte sowie die Tagesmittelwerte bei Werten unter 10% des Grenzwertes (200 µg/m³, IG-L). Im Winter waren die Werte etwas höher als in den Sommermonaten.

Die Messstation Kittsee zeigte, wie auch in den letzten Jahren, deutlich höhere Halbstundenmittelwerte (40 µg/m³ bis 60 µg/m³) als die anderen burgenländischen Messstationen. Die höchste SO₂-Konzentration lag mit 196 µg/m³ (am 4. Mai 2015) knapp unter dem Grenzwert.

Der SO₂-Tagesmittelgrenzwert (120 µg/m³, IG-L) wurde im gesamten Burgenland eingehalten, der höchste Wert trat ebenfalls in Kittsee mit 26,6 µg/m³ auf.

2.5 Emissionskataster - Burgenland und Niederösterreich

2.5.1 *Datengrundlage*

Sowohl im Burgenland als auch in Niederösterreich liegen die jeweiligen Bundesländer-Emissionskataster in elektronischer Form vor. Beide Bundesländer nutzen dazu das emikat.at Emissionsdatenmanagementsystem, wenn auch in – je nach inhaltlichen Schwerpunkten – jeweils etwas unterschiedlicher Form.

In beiden Bundesländern beziehen sich die Daten nicht auf ein festgelegtes Basisjahr, sondern auf einen bestimmten Wissensstand, der in unterschiedlichen Sektoren jeweils unterschiedlich aktuell sein kann. Grund dieser Vorgangsweise ist die Überlegung, dass es ohnedies kaum möglich ist, für alle Sektoren einen gleichen Jahresbezug für die Basisdaten zu haben und somit ein Emissionskataster nie „fertig“ sein kann. Weiters ist es wichtig, immer die jeweils aktuellsten Daten einzubauen – auch wenn sich diese nur auf einzelne Verursacherguppen beziehen. Das heißt, in beiden Emissionskatastersystemen kann es durchaus große Unsicherheiten in Bezug auf einzelne Verursachieranlagen oder Verursacherguppen geben, allerdings liegt in beiden Bundesländern ein wesentlicher Schwerpunkt bei der bestmöglichen räumlichen Auflösung der Emissionskataster:

- Größere Anlagen (Heizkraftwerke, Fernheizwerke, Sachgütererzeugung, Infrastruktur) werden, soweit wie möglich, als Punktquellen samt deren Koordinaten zugeordnet. Die Lagegenauigkeit dürfte bei ca. 50m liegen, kann aber bei Anlagen mit großen Flächen (z.B. Deponien) deutlich ungenauer sein. Grund dafür ist, dass die Lagezuordnung aufgrund der Postadressen der Arbeitsstätten erfolgt, die von der Lage der Emissionsorte in der Regel abweichen. Wenn die Koordinaten der Arbeitsstätten nicht bekannt sind, werden die Anlagen als Flächenquellen den jeweiligen Zählsprengeln zugeordnet; wenn auch diese nicht bekannt sind, dem zentralen Zählsprengel einer Gemeinde.
- Der Straßenverkehr auf Bundes- und Landesstraßen wird als Linienquellen verortet. Der Verkehr außerhalb dieses Streckennetzes (z.B. auf Nebenstraßen oder im Ortsverkehr) wird als Flächenquellen verortet.
- Alle sonstigen Emissionsquellen (Haushalte, kleinere Anlagen aus Gewerbe, Landwirtschaft etc.) werden grundsätzlich auf der Ebene der Zählsprengel oder, wenn dies wegen der größeren Datengrundlagen nicht möglich ist, auf Ebene der Gemeinden erfasst und den für die emissionsgenerierende Aktivität relevanten Zählsprengeln einer Gemeinde aufgrund der jeweiligen Landnutzungsanteile (z.B. Gewerbegebiete, Wohngebiete, Verkehrsflächen) zugeordnet.

Zur Darstellung der Emissionsdichten in generalisierter Form werden alle Emissionen innerhalb der Zählsprengel (Punkt-, Linien-, Flächenquellen) auf emissionsrelevante Flächen in 500 x 500m Rasterfelder zugeordnet. Das heißt, auch wenn es bei einzelnen Emissionsquellen oder Verursachergruppen große Unsicherheiten gibt, erlauben die beiden Bundesländer-Emissionskataster eine sehr gute räumlich Übersicht über die Verteilung der Emissionen.

Der zeitliche Bezug der Emissionsdaten ist generell ein Kalenderjahr. Die Emissionsdaten beziehen sich damit immer auf die Emissionsmengen pro Jahr. In beiden Katastern werden jedoch Monatswerte hochgerechnet, indem die Jahresdaten mit näherungsweisen Disaggregationsfaktoren bewertet werden. Die zeitliche Disaggregation der Emissionsdaten wird in Kapitel 2.5.5 beschrieben.

Die Daten der Emissionskataster sind in Szenarien zusammengefasst, die jeweils einen bestimmten Wissensstand widerspiegeln.

Burgenland

Das BEKat-System wurde im Jahr 2012 erstmals erstellt und seither mehrfach aktualisiert (ChemData GmbH und AIT GmbH, 2012). Die für diese Statuserhebung genutzten Daten wurden aus dem Szenario 1407 („Basis Burgenland-EK“) übernommen. Es spiegelt den Wissensstand aus 2012 wider, wobei die

Daten der stationären Emittenten aus dem Zeitraum 2006 bis 2009 und die Daten der mobilen Quellen (Straßenverkehr) aus dem Jahr 2010 stammen.

Eine Aktualisierung der Erhebungsdaten für das Referenzjahr 2015 ist derzeit in Arbeit, aber noch nicht abgeschlossen.

Niederösterreich

Das Amt der NÖ Landesregierung hat die Nutzung von anonymisierten NEMI-Daten für diese Statuserhebung ermöglicht.

Niederösterreich betreibt das NEMI-System, das analog zum BEKat System aufgebaut ist (Chem Data GmbH et al., 2014). Aufgrund der Erhebungsmethodik sind im NEMI-System allerdings eine Reihe von Einzel-Emissionsquellen nicht über Punkt-Koordinaten, sondern über deren Gemeinde-Kennzahl als Flächenquellen erfasst. Die für diese Statuserhebung genutzten Daten wurden aus dem Szenario 2147 („NEMI-2015“) übernommen. Es spiegelt den Wissenstand aus 2015 wider. Die Daten der stationären Emittenten stammen ursprünglich aus Erhebungen im Zeitraum 2006 bis 2009. Die Großemittenten wurden gemäß den laufenden technischen Entwicklungen adaptiert und deren Emissionen auf den Stand 2015 hochgerechnet. Die Emissionen aus dem Straßenverkehr beziehen sich auf das Referenzjahr 2010. Die Emissionen der Haushalte beziehen sich auf eine Hochrechnung für das Jahr 2015.

2.5.2 *Harmonisierung der Emissionsdaten*

Die SO₂-Emissionsdaten der beiden Bundesländer – angegeben als kg/Jahr – wurden extrahiert und in ein gemäß der EU-Richtlinie INSPIRE definiertes ETRA-LAEA Referenzrasterystem (http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_Specification_GGS_v3.0.pdf) mit einer Rasterfeldgröße von 500 x 500 m geladen („R500“-Rasterfelder).

2.5.3 *Untersuchungsgebiet*

Das Untersuchungsgebiet der Bundesländer-Emissionskataster umfasst nur das Territorium auf österreichischem Staatsgebiet. Die Analyse der Emissionsdaten wird für 2 Gebiete durchgeführt:

Gesamtes Untersuchungsgebiet

Das Gesamtraster des Untersuchungsgebiets (Abbildung 3) hat eine Ausdehnung von 55,5 x 54,5 km: Von der südöstlichen Wiener Stadtgrenze bis zur östlichsten Staatsgrenze und etwa 17 km nördlich und 37,5 km südlich der Messstation.

Unmittelbare Umgebung der Messstation

Die unmittelbare Umgebung der Messstation Kittsee ist in Abbildung 3 grün dargestellt und hat eine Ausdehnung von 16,5 x 15 km.

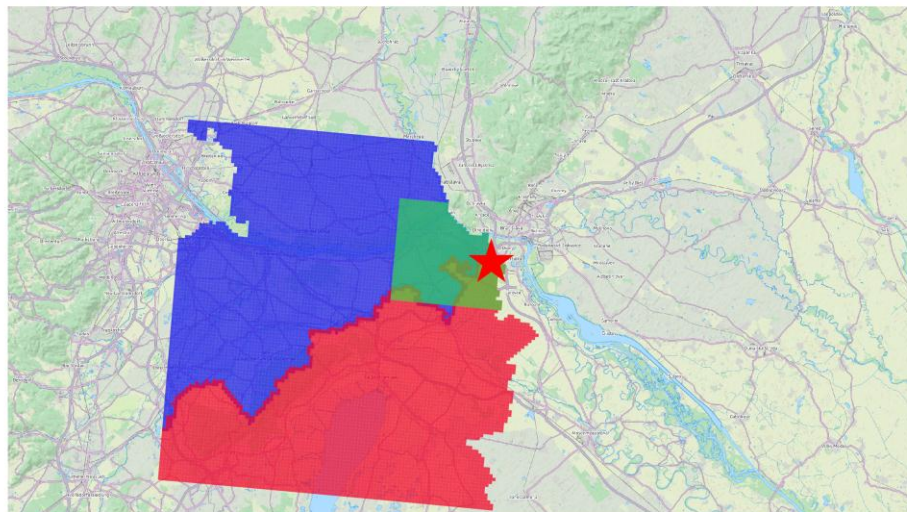


Abbildung 3 ETRS-LAEA 500 x 500 m Rasterfelder für das gesamte Untersuchungsgebiet: Niederösterreich (blaue Fläche) und Burgenland (rote Fläche). Die unmittelbare Umgebung der Messstation Kittsee (rote Markierung) ist als grüne Fläche dargestellt.

2.5.4 SO₂-Emittenten

Es gibt nur wenige große Punktquellen im Burgenland und in Niederösterreich: Die bei weitem größten Beträge kommen aus dem Gelände der Raffinerie in Schwechat (Petrochemie) etwa 45 km westlich der Messstation Kittsee, der zweitwichtigste Beitrag (bereits um den Faktor 20 kleiner) aus einem Zementwerk nahe Mannersdorf etwa 45 km südwestlich der Messstation. Außerdem gibt es mehrere Heizwerke im gesamten Untersuchungsgebiet, die jedoch weitgehend mit Biomasse betrieben werden und für die SO₂-Emissionen nur wenig relevant sind. Auch die vielen Gewerbebetriebe tragen nur wenig zu den SO₂-Emissionen bei.

Tabelle 1 SO₂-Emissionsmengen im gesamten Untersuchungsgebiet und in der näheren Umgebung der Messstation Kittsee.

		Gesamtes Untersuchungsgebiet		Umgebung der Messstation	
Anzahl R500 Rasterfelder	Anzahl	10.181		863	
Fläche	km ²	2.545,3		215,8	
SO ₂ -Emissionen					
F Infrastruktur (Ver-/Entsorgung, öff. Verkehr)	kg/Jahr	57.543	5%	920	5%
G Gewerbe und öff. Gebäude	kg/Jahr	49.153	4%	4.803	24%
H Haushalte	kg/Jahr	128.805	11%	11.292	56%
I Industrie	kg/Jahr	953.409	79%	2.042	10%
<i>Davon Petrochemie</i>	<i>kg/Jahr</i>	<i>(851.000)</i>	<i>(70%)</i>		
<i>Davon Zementwerk</i>	<i>kg/Jahr</i>	<i>(54.000)</i>	<i>(4%)</i>		
N Natur & Landwirtschaft	kg/Jahr	6.286	1%	403	2%
V Verkehr auf Straßen	kg/Jahr	11.918	1%	553	3%
Summe aller Verursacher	kg/Jahr	1.207.113	100%	20.013	100%
SO ₂ -Emissions-Flächendichte	kg/(km ² /J)	474		93	
SO ₂ -Emissions-Flächendichte (ohne Petrochemie & Zement)	kg/(km ² /J)	119		93	

Gesamtes Untersuchungsgebiet

Im gesamten Untersuchungsgebiet beträgt die jährliche SO₂-Emissionssumme etwa 1.207.000 kg/Jahr.

Der überwiegende Anteil, nämlich etwa 79% der Emissionen, stammt aus dem Sektor Industrie. Es handelt sich dabei zum weitaus größten Teil (mit etwa 89% aller Industrieemissionen) um den Ausstoß aus der Raffinerie in Schwechat sowie zu einem kleineren Teil (mit ca. 6 % aller Industrieemissionen) aus der Zementindustrie im Raum Mannersdorf. Die restlichen Industrieemissionen verteilen sich auf viele kleinere Emissionsquellen an unterschiedlichen Standorten.

Die zweitgrößte Verursacherkategorie sind die Haushalte, die einen Anteil von etwa 11% an der gesamten SO₂-Emissionsmenge haben. Sie verteilen sich im gesamten Untersuchungsgebiet über alle Ortschaften. Dazu soll allerdings angemerkt werden, dass die tatsächlichen Emissionswerte im Jahr 2016 vermutlich deutlich tiefer liegen als dies in den BEKat- und NEMI-Emissionskatastern angegeben ist, da die dortige Datenbasis mehrere Jahre alt ist und es in den letzten Jahren in beiden Bundesländern einen deutlichen Trend weg vom Heizöl gegeben hat.

Die restlichen Verursacherkategorien sind im gesamten Untersuchungsgebiet nur von untergeordneter Bedeutung.

Die mittlere jährliche SO₂-Emissionsdichte über das gesamte Untersuchungsgebiet beträgt im Jahresdurchschnitt etwa 474 kg/km². In nur zwei der insgesamt 10.181 Rasterfelder (d.s. weniger als 0,02 %) liegen die jährlichen Emissionen über 100.000 kg pro Rasterfeld (bzw. 400.000 kg/(km²*Jahr)) und in nur 4 Rasterfeldern (0,4 %) liegen sie über 10.000 kg/Rasterfeld (bzw. 40.000 kg/(km²*Jahr)).

Wenn die beiden wesentlichen Industriebetriebe (Raffinerie Schwechat, Zementwerk Mannersdorf) ausgeklammert werden, liegen die Emissionsdichten im gesamten Untersuchungsgebiet im Jahresdurchschnitt bei nur mehr 119 kg/(km²*Jahr), das ist weniger als ein Viertel des rechnerischen Gesamtwerts.

Umgebung der Messstation

In der näheren Umgebung der Messstation Kittsee (auf österreichischer Seite) liegen die Emissionsdichten viel geringer als im gesamten Untersuchungsgebiet. Die jährliche Emissionssumme beträgt 20.013 kg. Die mittlere jährliche SO₂-Emissionsdichte in der direkten Umgebung beträgt damit nur etwa 93 kg/(km²*Jahr), also weniger als ein Viertel der ohnehin schon geringen mittleren Emissionsdichte in der Region, und ist noch etwas geringer als in der gesamten Region ohne die beiden erwähnten Großemittenten.

In einem einzigen Rasterfeld gibt es Emissionen von mehr als 1.000 kg/Jahr (bzw. 4.000 kg/(km²*Jahr)) und in nur 62 der 863 Rasterfelder (7,5%) liegen sie über 100 kg pro Rasterfeld (bzw. 400 kg/(km²*Jahr)).

Der überwiegende Anteil der Emissionen in der Umgebung der Messstation (nämlich etwa 56%) stammt aus der Verursacherkategorie Haushalte, d.h. aus den Heizungsanlagen. Weitere 24% der Emissionen stammen aus Gewerbebetrieben und öffentlichen Gebäuden. Diese beiden Verursacherguppen befinden sich über alle Ortschaften verteilt und haben durchwegs niedrige Emissionshöhen. Die Industrie trägt nur zu 10% zu den SO₂-Emissionen bei, dabei handelt es sich weitgehend um kleinere Emissionsquellen mit niedrigen Emissionshöhen.

Alle anderen Verursacher spielen nur eine sehr kleine Rolle.

2.5.5 *Zeitliche Disaggregation der Emissionsdaten - Methodik*

Da die verschiedenen Emissionsquellen teilweise sehr unterschiedliche jahreszeit-, wochentags- und tageszeitabhängige emissionsgenerierende Aktivitäten aufweisen, ist es nützlich, die flächenbezogenen Emissionsdichten auf bestimmte Zeiträume aufzuspalten. Dies erfolgt über sogenannte Disaggregationsprofile: Dazu werden die wahrscheinliche Verteilung der Emissionen in den 52 Wochen eines Jahres (Jahreswochen) und die wahrscheinliche Verteilung der Emissionen in den 168 Stunden einer Woche kombiniert. Es können somit die zeitlichen Unterschiede der emissionsgenerierenden Aktivitäten gut kombiniert werden. Diese Kurven beziehen sich auf ein Standardjahr, das am 1.1. mit einem Montag beginnt. Das Standardjahr kann jedoch für beliebige Jahre umnormiert werden.

Idealerweise werden zur zeitlichen Disaggregation zuerst alle einzelnen Verursacherguppen gesondert betrachtet und erst danach die Summen für die jeweils betrachteten Perioden gebildet. Im Zuge dieser Studie wurde allerdings aus Kapazitätsgründen die Disaggregation nur auf Ebene der 6 wesentlichen Verursacherguppen vorgenommen (Tabelle 2). Dies ist aber für eine näherungsweise Betrachtung der Relevanz der Quellen im Untersuchungsgebiet durchaus ausreichend. Ein Beispiel für die zeitliche Disaggregation der Kategorie Haushalte und Industrie ist in Abbildung 4 dargestellt.

Tabelle 2 Disaggregationsprofile für die zeitliche Zuordnung der Emissionen.

Verursacherkategorie	ID	Disaggregationsprofil für Jahreswochen (JW) und Wochenstunden (WS)	
F Infrastruktur (Ver-/ Entsorgung, öff Verkehr)	00-00	JW 00	Keine Jahreswochendynamik
		WS 00	Keine Wochenstundendynamik
G Gewerbe und öff. Gebäude	41-02	JW 41	Produktionsprozesse inkl. betriebl. Lösungsmitelesatz
		WS 02	Ein-Schichtbetrieb (Tagesbetrieb bei gewerblichen Anlagen)
H Haushalte	39-03	JW 39	Erdgasnutzung in Haushalten und Gewerbe
		WS 03	Raumwärme und Warmwasser in Haushalten
I Industrie	38-16	JW 38	Brennstoffeinsatz in der Industrie
		WS 16	Produzierende Industrie
N Natur & Landwirtschaft	06-14	JW 06	Aktivitäten mit mehr Emissionen bei höheren Temperaturen
		WS 14	Aktivitäten nach Tagestemperatur ohne Wochentageinfluss
V Verkehr auf Straßen	17-20	JW 17	Gesamte KFZ auf Hauptverkehrsstraßen
		WS 20	Gesamte KFZ auf Hauptverkehrsstraßen

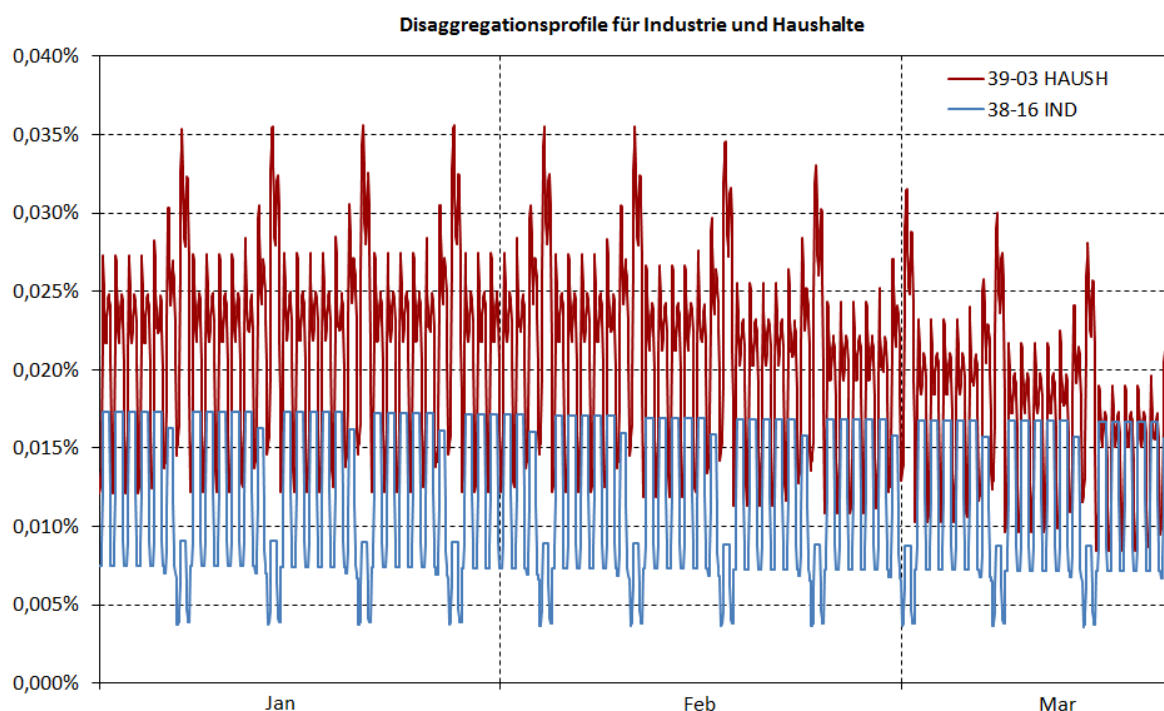


Abbildung 4 Beispiele für Disaggregationsprofile 38-16 (Verursacherguppe Industrie, blau) und 39-03 (Verursacherguppe Haushalte, rot) in den ersten 2000 Stunden eines Standardjahres, beginnend an einem Montag um 0 Uhr.

Ergebnis der zeitlichen Disaggregation sind Kennzahlen für die durchschnittliche Emissionsstärke, d.h. für die stündlichen flächenbezogene Emissionsmengen ($\text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$) in der jeweils betrachteten Periode.

2.6 EEA Large Combustion Database

2.6.1 Datengrundlage

Die EU Richtlinie „Directive on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants (LCP Directive, 2001/80/EC)“ schreibt für Verbrennungsanlagen, deren thermische Bemessungsleistung $\geq 50 \text{ MW}$ ist, eine Berichtspflicht vor

(<http://ec.europa.eu/environment/archives/industry/stationary/lcp/legislation.htm>). Die dazugehörige Large Combustion Plant (LCP) Datenbank wird vom österreichischen Umweltbundesamt im Auftrag der europäischen Umweltagentur betrieben. Die LCP-Daten enthalten die Anlagen- und Betreiberamen, Adressen, Koordinaten, Brennstoffeinsatz sowie die Jahressummen der Emissionen für SO₂, NO_x und Staub. Die LCP-Daten werden jährlich geliefert, das aktuellste verfügbare Berichtsjahr ist 2014.

2.6.2 Untersuchungsgebiet

Als relevanter Raum wurde ein Gebiet etwa 100 km östlich und westlich der Messstation (Krems bis Tatabanya) und etwa jeweils 70 km nördlich und südlich der Messstation (Znaim/Nove Mesto – Pinkafeld/Szekesfehervar) ausgewählt.

Es gibt in der unmittelbaren Umgebung der Messstation Kittsee auf slowakischer Seite eine relevante Anlage. Weitere Anlagen befinden sich in etwa 90-100 km Entfernung zur Messstation auf slowakischer und ungarischer Seite. Beide Standorte weisen erhebliche Emissionen auf. Je nach Windverhältnissen können aber alle Standorte zu erhöhten SO₂-Messwerten beitragen.

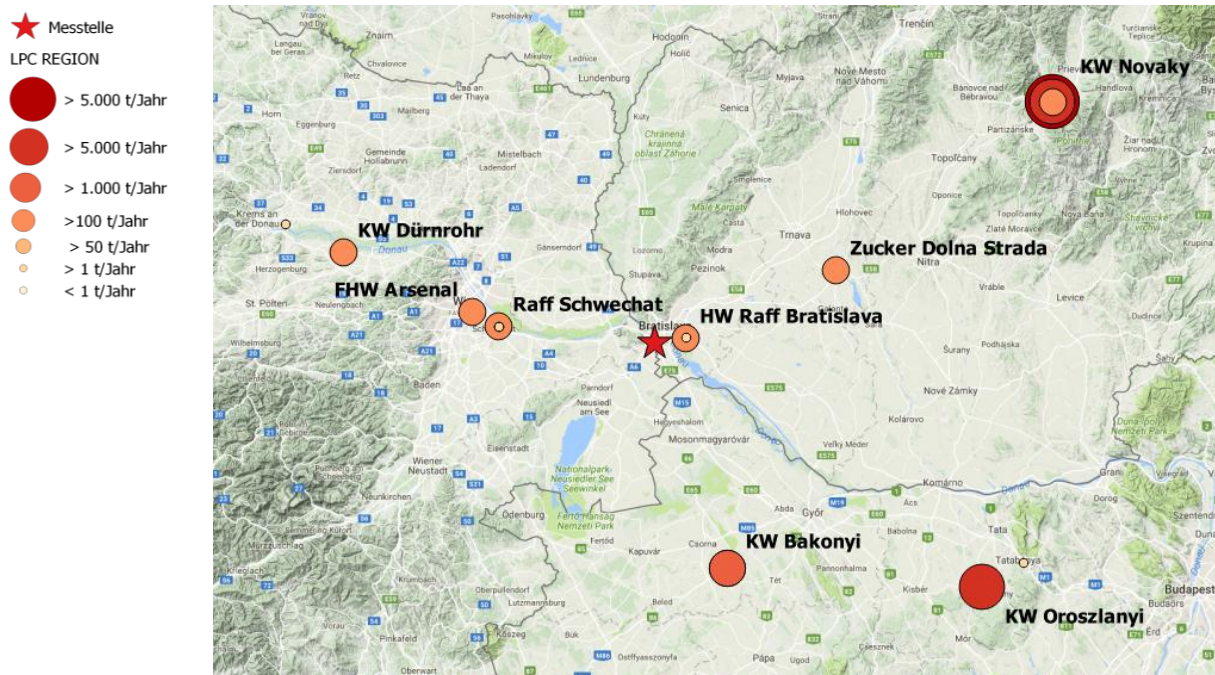


Abbildung 5 Large Combustion Sources (LCP) mit SO₂-Emissionen > 1 t/Jahr der großräumigen Umgebung der Messstation. Die Bezeichnungen der Anlagenstandorte sind nur für Anlagen mit Emissionen > 50 t SO₂ angegeben.

2.6.3 SO₂-Emittenten

An einigen Standorten sind mehrere Einzelanlagen vorhanden. In Tabelle 3 werden diese zu Standortsummen zusammengefasst, soweit diese jeweils einem Betreiber zugerechnet werden können.

Tabelle 3 SO₂-Emissionsmengen in den LCP-Großanlagen im großräumigen Untersuchungsgebiet (Bezugsjahr der Daten: 2014). Er sind hier nur Großanlagen mit einer Emissionssumme von mehr als 1 t/Jahr angegeben (Werte auf jeweils 1 t gerundet). Die Anlagen sind nach der Entfernung von der Messstation Kittsee von Westen nach Osten sortiert.

Name	Standort	Entfernung (km)	SO ₂ -Emissionen (t im Jahr 2014)
KW Theiß (2 Anlagen)	Theiß	105 km	2
KW Dürnrohr	Dürnrohr	90 km	249
FHW Arsenal	Wien Landstraße	50 km	115
Raff Schwechat (4 Anlagen)	Schwechat	45 km	451
HW Raffinerie European Power	Bratislava Südost (Slovnaft)	8 km	416
FHW Bratislava	Bratislava Südost (Slovnaft)	8 km	4
Zuckerfabrik Dolna Strada	Dolna Strada (Trnava - Nitra)	55 km	199
KW Bakony (2 Anlagen)	Csorna - Győr	65 km	1.186
KW Oroszlányi	Oroszlany (Tatabanya)	110 km	2.685
HKW Tatabánya	Tatabanya	120 km	2
KW Nováky (3 Anlagen)	Previdza	125 km	24.696

Österreich

Auf österreichischer Seite gab es im Jahr 2014 nur sehr geringe Emissionen aus dem Heizkraftwerk Theiss, nämlich nur 2 t, allerdings gab es aus dem Kraftwerk Dürnrohr mit etwa 249 t SO₂ sehr erhebliche SO₂-Emissionen. Ebenfalls durchaus hohe Emissionen gab es bei dem etwa 50 km von der Messstation Kittsee entfernten Wiener Fernheizkraftwerk Arsenal, welches im Jahr 2014 Emissionen von 199 t aufgewiesen hat. Das FHW Arsenal war im Jahr 2014 gegenüber dem Jahr davor relativ stark in Betrieb und hat dafür viel Öl eingesetzt. Die Emissionen schwanken allerdings sehr stark je nach der Betriebsweise: Im Jahr 2016 lagen die SO₂-Emissionen aufgrund der meteorologischen Bedingungen vermutlich etwas niedriger. In der Raffinerie Schwechat sind in der LCP-Datenbank gleich 4 Anlagen verortet, die im Jahr 2014 in Summe 451 t/Jahr SO₂ ausgestoßen haben. Das ist nur etwas mehr als die Hälfte des Wertes, der im Emissionskataster des Landes NÖ für das Bezugsjahr 2008 ausgewiesen ist. Es ist unklar, ob sich der Rückgang durch eine systematisch geänderte Verbrennungsart (bzw. auf eine zusätzliche Entschwefelungstechnologie) oder durch eine hohe Variabilität der Emissionen in den einzelnen Jahren zu erklären lässt.

Die österreichischen Anlagen sind relativ effizient, was die SO₂-Emissionsintensitäten bezogen auf den Brennstoffeinsatz betrifft (Tabelle 4). Die schlechteste Anlage ist das FHW Arsenal mit 450 kg SO₂ pro TJ Brennstoffeinsatz, diese Daten beziehen sich allerdings auf das Jahr 2014. Seit 2015 wurde dort aber eine neue Anlage gebaut, welche die alte Anlage ersetzt hat, sodass diese Daten für das Jahr 2016 nicht mehr relevant sind. Bei den anderen Anlagen liegen die Intensitäten bei 1-26 kg SO₂ pro TJ Brennstoffeinsatz.

Tabelle 4 LCP-Anlagen in Österreich mit SO₂-Emissionen > 1 t/Jahr.

Standort	Anlage	Brennstoffeinsatz		Brennst.- Wärme- leistung MW(th)	SO ₂ - Emis. t/Jahr	SO ₂ - Intens. kg/TJ
			TJ			
Raff Schwechat	RS07 Platformer & KEP	Oth Gas:	1.929	84	5	2
Raff Schwechat	RS10 Rohöldestillation 4	Nat Gas: Oth Gas:	34 4.894	180	4	1
Raff Schwechat	RS13 FCC-Anlage	Oth Solid Fuels:	2.733	102	43	16
Raff Schwechat	RS15 neu Kraftwerk 1, 2 und Ostanl	Liq Fuels: Nat Gas: Oth Gas:	11.349 351 6.244	1064	400	22
KW Theiß	KWT Maschine 2	Liq Fuels: Nat Gas:	7 51	367	< 2	26
FHW Arsenal	Heißwasserkessel 1/2	Liq Fuels: Nat Gas:	254 <<	200	115	450
KW Dürnrohr	WDR 1+2 Hauptkessel	Nat Gas:	258	1.758	249	20

Slowakei

Auf slowakischer Seite fällt das große European Power Heizkraftwerk in Bratislava auf, welches einen großen Einfluss auf die Messstation Kittsee haben dürfte, da es in nur 8 km Luftlinie von der Messstation entfernt liegt. Es stößt (zumindest nach den Daten aus 2014) mit 416 t/Jahr SO₂ fast ähnlich viel SO₂ aus wie die 4 Anlagen der Raffinerie Schwechat, die allerdings mit 45 km deutlich weiter entfernt von der Messstation Kittsee liegen. Dieses Kraftwerk allein trägt also eine jährliche mittlere Emissionsstärke von knapp 50.000 g/(km²*h) bei. Dazu kommt, dass bei einem Heizkraftwerk in den Wintermonaten die Aktivitäten (und damit die Emissionen) vermutlich überproportional höher sind als im Sommer, d.h. es wäre durchaus mit einer Emissionsstärke in der Höhe von 100.000 g/(km²*h) zu rechnen. Ein zweiter kleinerer Kessel eines Heizkraftwerks in der Nähe des European Power Heizkraftwerks liefert dagegen nur geringe Emissionen (Tabelle 5).

Ebenfalls auf slowakischer Seite liegt der Heizkessel der Agrana Zuckerfabrik in Dolna Strada, welcher etwa 55 km von der Messstation Kittsee entfernt liegt. Die in den LCP Daten ausgewiesenen Emissionen von 199 t SO₂ dürften aber für die beiden Überschreitungsepisoden nicht relevant sein, da Zuckerfabriken üblicherweise nur im Herbst in Betrieb sind. Sehr viel wichtiger ist auf slowakischer Seite das große Kraftwerk Novaky, aus dessen 3 Kesselanlagen 24.696 t SO₂ pro Jahr emittiert werden. Das ist mehr als das Vierfache aller anderen LPC-Emissionsquellen im gewählten Untersuchungsgebiet zusammen. Das Kraftwerk liegt etwa 125 km nordöstlich der Messstation Kittsee im slowakischen Mittelgebirge in der Nähe von Nitra.

Die slowakischen Anlagen haben nicht nur sehr hohe absolute Emissionswerte, sondern auch sehr hohe relative SO₂-Emissionsintensitäten bezogen auf den Brennstoffeinsatz. Die Anlage mit den absolut höchsten SO₂-Emissionen, der Granulatkessel für Kohle im KW Novaky, ist auch diejenige mit den schlechtesten relativen Werten, nämlich knapp 26.000 kg SO₂ pro TJ Energieeinsatz. Das ist das etwa

1.000-fache des KW Theiß, die relativ schlechteste österreichische Anlage im Untersuchungsgebiet, wenn die inzwischen obsolete Anlage FHW Arsenal nicht berücksichtigt wird. Auch die anderen Anlagen des KW Novaky haben SO₂-Emissionsintensitäten von 2.200-3.300 kg SO₂ pro TJ Brennstoffeinsatz.

Auch die Zuckerfabrik Dolna Strada zeigt mit knapp 3.000 kg SO₂ pro TJ hohe Werte. Deutlich niedriger liegen die Emissionsintensitäten beim Heizwerk der Raffinerie Bratislava mit knapp 500 kg SO₂ pro TJ Brennstoffeinsatz. Dieser Wert ist aber noch immer 25-mal so hoch wie die entsprechenden Werte der Raffinerie Schwechat.

Diese Daten zeigen, dass die relativen Emissionen der slowakischen Kraftwerke um ein vielfaches höher sind als bei österreichischen Anlagen. Es ist daher naheliegend, dass die hohen Emissionen nicht auf einen höheren Brennstoffeinsatz, sondern auf fehlende oder nicht dem Stand der Technik entsprechende Abgasreinigungstechnologien zurückzuführen sind.

Tabelle 5 LCP-Anlagen in der Slowakei mit SO₂-Emissionen > 1t/Jahr.

Standort	Anlage	Brennstoffeinsatz TJ	Brennst.- Wärme- leistung MW(th)	SO ₂ - Emis. t/Jahr	SO ₂ - Intens. kg/TJ
FHW Bratislava	FHW JUH (Bj 1969)	Liq Fuels: 8 Nat Gas: 453	254	4	15
HW Raffinerie Bratislava	Raffinerie HKW K1-5+K7-8 (Bj 1972)	Liq Fuels: 6.293 Nat Gas: 717 Oth Gases: 724	868	416	479
KW Novaky	HKW Kessel B-BI,1,2 (Bj 1964)	Oth Sol Fuels: 12.493 Liq Fuels: 48	632	2.055	3.252
KW Novaky	HKW Fluidkessel (Bj 1996)	Biomasse: 86 Oth Solid Fuels: 1424 Liq Fuels: 22	110	239	2.169
KW Novaky	KW Granulatkessel (Bj 1976)	Oth Solid Fuels: 6.258 Liq Fuels: 53	872	22.403	25.691
Zucker Dolna Strada	HKW Sered Kessel K1-K2 (Bj 1961)	Oth Solid Fuels: 543 Nat Gas: 18 Oth Gases: 6	68	199	2.942

Ungarn

Auf ungarischer Seite gibt es 2 wesentliche Kraftwerke (Tabelle 6). In 65 km Entfernung von der Messstation liegt das nahe der Stadt Győr gelegene Kraftwerk Bakony mit einem Ausstoß von 1.186 t SO₂. 110 km östlich der Messstation liegt in der Nähe von Tatabánya das Kraftwerk Vértési Oroszlányi, aus dem mit 2.685 t/Jahr sogar mehr als doppelt so viel SO₂ emittiert wird als im näheren Kraftwerk. In beiden Fällen handelt es sich um thermische Kraftwerke, bei denen die Emissionen vermutlich über das ganze Jahr gleichmäßig abgegeben werden. Das städtische Heizkraftwerk Tatabánya trägt dagegen mit nur 2 t SO₂ nur sehr wenig zur Belastung bei.

Die ungarischen Anlagen haben, bis auf das Erdgasbetriebene städtische Heizkraftwerk in Tatabanya, sehr hohe relative Emissionsintensitäten, nämlich zwischen 2.400 und 3.500 kg SO₂ pro TJ Brennstoffeinsatz. Vor allem in den Kraftwerken Bakonyi und Oroszlany wird anscheinend sehr viel schwefelhaltige Kohle („Other Solid Fuels“) eingesetzt.

Diese Daten zeigen, dass die relativen Emissionsintensitäten der ungarischen Kraftwerke viel höher sind als in österreichischen Anlagen. Wie in der Slowakei ist es daher naheliegend, dass die hohen absoluten Emissionen in erster Linie auf fehlende oder nicht dem Stand der Technik entsprechende Abgasreinigungstechnologien zurückzuführen sind.

Tabelle 6 LCP-Anlagen in Ungarn mit SO₂-Emissionen > 1 t/Jahr.

Standort	Anlage	Brennstoffeinsatz TJ	Brennst.- Wärme- leistung MW(th)	SO ₂ - Emis. t/Jahr	SO ₂ - Intens. kg/TJ
KW Bakonyi	Bioenergie Kraftwerk (Strom)	Biomass: 2.970 Oth Solid Fuels: 148 Nat Gas: 4	176	555	3.153
KW Bakonyi	Heizkraftwerk	Biomass: 2.361 Oth Solid Fuels: 1.053 Nat Gas: 6	264	631	2.389
HKW Tatabanya	Heizkraftwerk	Nat Gas: 949	180	2	10
KW Oroszlányi (Tatabanya)	Kraftwerk (Strom)	Biomass: 3.235 Oth Solid Fuels: 6.350 Liq Fuels: 150	760	2.685	3.533

2.7 Modellierung

2.7.1 Ausbreitungsmodell FLEXPART

Für die Berechnung der Ausbreitung der Emissionen wurde das Modell FLEXPART verwendet. FLEXPART (FLEXible PARTicle dispersion model, www.flexpart.eu) ist ein Lagrang'sches Partikel Transport- und Dispersionsmodell (Stohl et al., 2005), das sich für die Simulation von atmosphärischen Transportprozessen von mittlerer und großer Reichweite eignet, sofern keine komplexen chemischen Reaktionen zu berücksichtigen sind. Die Anwendungen von FLEXPART reichen vom Transport von Radionukliden bis zur Ausbreitung von Luftschadstoffen (z.B. SO₂, PM). Der Output von FLEXPART eignet sich auch zur inversen Modellierung von z.B. Treibhausgasen, SO₂ oder Vulkanasche, welche die Ermittlung von Emissionsquellen erlaubt (Kristiansen et al., 2012). FLEXPART wurde aus dem Vorgängermodell FLEXTRA (FLEXibel TRAjectory Model) heraus entwickelt (Stohl, 1999).

Für diese konkrete Fragestellung wurde das Modell im sogenannten Backward Mode verwendet, d.h. dass die Ausbreitungsrechnung nicht von der bekannten Quelle weg erfolgt, sondern von einer definierten Messstation, und die meteorologischen Inputdaten in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge eingehen. Die Ausbreitung der Dispersionswolke zeigt dann an, welche Gebiete bzw. welche Quellen zu welchen Zeitpunkten einen Beitrag zur Messung geliefert haben könnten (sofern die Quellen tatsächlich aktiv waren), weshalb man in diesem Zusammenhang auch von Quell-Rezeptor-Sensitivitäten (QRS) bzw. Source Receptor Sensitivity (SRS) spricht. Je länger eine hohe QRS über einem Gebiet zu sehen ist, umso mehr kann diese Gebiet bzw. diese Quelle zu einer gegebenen Messung beitragen. Wichtig dabei ist, dass es sich um die QRS in der Bodenschicht (ca. 100 m über Grund) handelt und eine gegebene Messung auch noch von Quellen in anderen, höheren Atmosphärenschichten beeinflusst werden könnte, was aber im konkreten Fall nicht zu erwarten ist.

2.7.2 Chemisches Transportmodell WRF-Chem

Das on-line gekoppelte chemische Transportmodell WRF-Chem (Grell et. al., 2005) wird an der ZAMG für die täglichen Luftqualitätsvorhersagen verwendet (Hirtl et. al., 2013). Die Meteorologie wird gleichzeitig mit den Emissionen, der Turbulenz, dem Transport und den Umwandlungsprozessen der chemischen Substanzen simuliert. Die Modellierung wird an der ZAMG auf 2 Gebieten durchgeführt: das Hauptgitter überdeckt Europa sowie Nordafrika und hat eine räumliche Auflösung von 12 km, das genestete Gebiet liegt über Österreich und wird mit einer räumlichen Auflösung von 4 km gerechnet (Abbildung 6). Für die meteorologischen Anfangs- und Randbedingungen werden ECMWF Vorhersagen (www.ecmwf.int) verwendet.

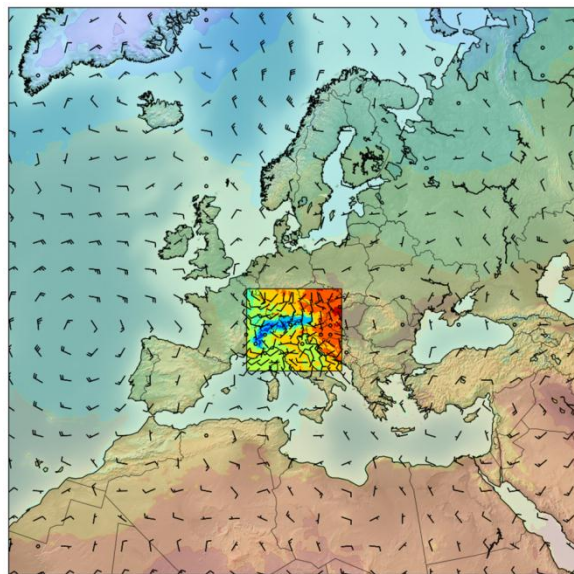


Abbildung 6 WRF-Chem Modellgebiete.

Die anthropogenen Emissionen werden aus verschiedenen Emissionskatastern generiert. Für die österreichischen Emissionen werden die Emissionskataster der Landesregierungen herangezogen. Die europäischen Emissionen stammen aus dem TNO Emissionskataster (Visschedijk et al., 2007, www.tno.nl). Die Emissionen außerhalb Europas werden aus dem EMEP Emissionskataster genommen (www.ceip.at/ceip). Die Emissionsinventare liefern Emissionsdaten auf verschiedenen Gittern bzw. auf Gemeinde-/Wahlsprengelbene. Mit einem Emissionsdatenaufbereitungstool, welches in Kooperation mit der BOKU (Universität für Bodenkultur Wien) entwickelt wurde, werden die verschiedenen Emissionsdaten auf das Modellgitter gebracht. Da die Emissionsdaten nur als Jahresemissionen vorliegen, müssen diese noch zeitlich disaggregiert werden. Den Emissionsdaten werden Jahres-/ Monats-/ Wochen- und Tagesgänge aufgeprägt, um schlussendlich stündliche Emissionsdaten zu erhalten. Die verwendeten Daten stellen daher nur eine Abschätzung der tatsächlichen Emissionen dar und können z.B. außergewöhnliche kurzfristige Emissionssituationen nicht berücksichtigen. Im Allgemeinen können mit diesen Emissionsdaten jedoch die großräumigen Schadstoffverteilungen räumlich und zeitlich qualitativ sehr gut reproduziert werden (Berichte der ZAMG zur Evaluierung der Ozonvorhersagen, Hirtl, 2014 bzw. Flandorfer 2015).

Die biogenen Emissionen werden durch die meteorologischen Gegebenheiten und Landnutzungsdaten durch das Modell MEGAN bestimmt (Guenther et al., 2006).

2.7.3 INCA

Das Analyse- und Nowcastingsystem INCA („Integrated Nowcasting Through Comprehensive Analysis“) befindet sich an der ZAMG im operationellen Einsatz. Es liefert auf einem 1-km Raster für ganz Österreich stündlich aktualisierte Prognosen von Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Globalstrahlung und viertelstündlich aktualisierte Prognosen von Bewölkung, Niederschlag und Niederschlagsart. Prognosen numerischer Wettervorhersagemodelle (ALADIN, ECMWF) werden durch Kombination mit aktuellen Messwerten (Stationsdaten, Radar, Satellit) verbessert und mit Hilfe hochauflösender Geländeinformation verfeinert.

Neben der Anwendung als Kurzfristvorhersagetool wird INCA auch als Analysemodellsystem verwendet. Stationsdaten werden mit Fernerkundungsdaten (Satellitendaten für Bewölkung, Radar für Niederschlag) algorithmisch kombiniert. Bei dieser Kombination wird die größere quantitative Genauigkeit der Stationsdaten und die bessere räumliche Auflösung der Fernerkundungsdaten genutzt. Die resultierende Analyse gibt an den Stationen die dort gemessenen Werte wieder, und weist zwischen den Stationen die in den Fernerkundungsdaten enthaltenen Strukturen auf (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/wetter/inca>)

3 Analyse der SO₂-Grenzwertüberschreitungen

3.1 SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 5. und 6. Jänner 2016

3.1.1 Immissionsituation

Wie im Kapitel 2.4 beschrieben, weist die Messstation Kittsee die höchsten SO₂-Konzentrationen im Burgenland sowohl im Halbstundenmittelwert (HMW) als auch im Tagesmittelwert (TMW) auf. Zu Beginn des Jahres 2016 wurden mehrere Überschreitungen des SO₂-HMW-Grenzwertes (200 µg/m³) gemessen. Insgesamt wurde der Grenzwert im Zeitraum von 5. Jänner 2016 16:30 Uhr bis 6. Jänner 2016 6:30 Uhr 11-mal überschritten. Der höchste Wert wurde am 6. Jänner 2016 um 4:30 Uhr mit 658 µg/m³ gemessen. Die Stationen Eisenstadt und Illmitz, welche etwa 45 km bis 50 km südwestlich der Station Kittsee liegen, zeigen keine Überschreitungen des HMW-Grenzwertes (Abbildung 7, links). Einige Immissionsmessstationen im östlichen bzw. nordöstlichen Niederösterreich zeigen erhöhte SO₂-Messungen. Die Stationen Gänserndorf und Hainburg weisen dabei schon einen Tag zuvor, in der Nacht von 4. Jänner auf 5. Jänner 2016, erhöhte SO₂-Konzentrationen auf (Abbildung 7, rechts). Der Grenzwert wurde an der Station Hainburg am 5. Jänner um 20:00 Uhr 1-mal überschritten (257 µg/m³).

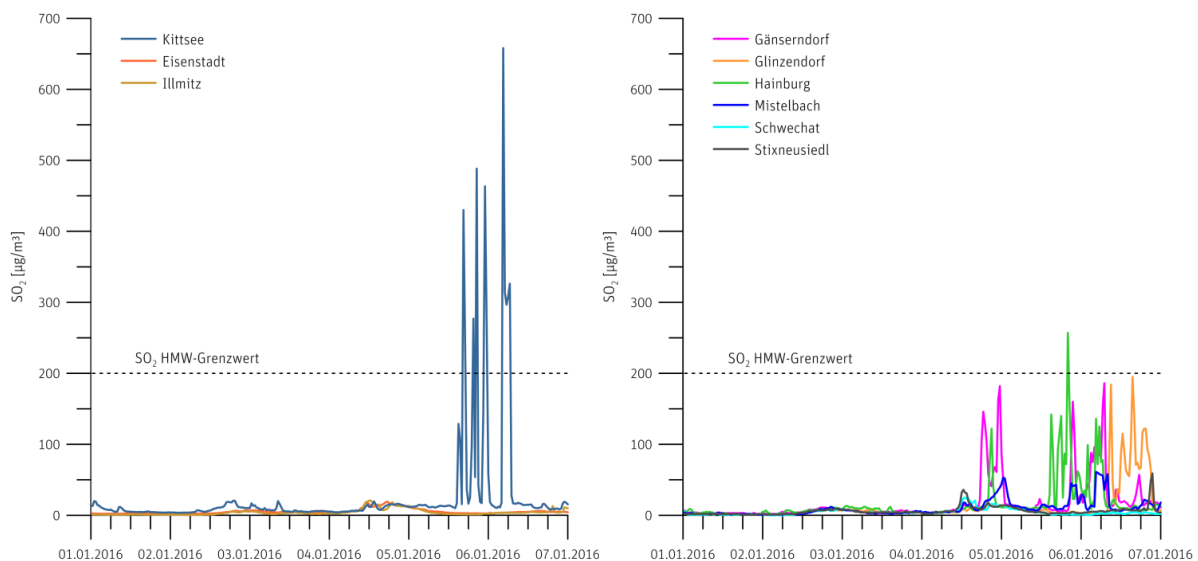


Abbildung 7 SO₂-Messungen im nördlichen Burgenland (links) und SO₂-Messungen im östlichen Niederösterreich von 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

3.1.2 Meteorologie

Die großräumige Wetterlage für den 5. Jänner und 6. Jänner 2016 ist mittels Bodendruckanalysekarten in Abbildung 8 dargestellt. Zu Beginn des Jahres 2016 liegt ein großflächiges Hochdruckgebiet über Nord-Osteuropa bzw. Russland. Das Hochdruckgebiet lenkt die Tiefdruckgebiete, welche im Mittelmeer entstanden sind, auf einer südlichen Route in Richtung Schwarzes Meer. Tiefdruckgebiete vom Atlantik werden abgeschwächt und ebenfalls nach Süden abgelenkt, wodurch Frontensysteme über Mitteleuropa

ziehen. In Österreich bedingen diese Fronten Bewölkung und Niederschläge in Form von Schnee. An den beiden Tagen mit den gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitungen liegt der Osten Österreichs in einer gradientschwachen Lage zwischen einem Tiefdruckgebiet mit Kern über Großbritannien und höherem Druck im Nordosten. Ein weiteres Tief, welches im Golf von Genua entstanden ist, wandert auf der typischen Vb-Wetterlagen-Zugbahn in Richtung Osten und bringt Niederschläge in den östlichen Teilen Österreichs sowie Bodenwinde aus östlichen bis südöstlichen Richtungen.

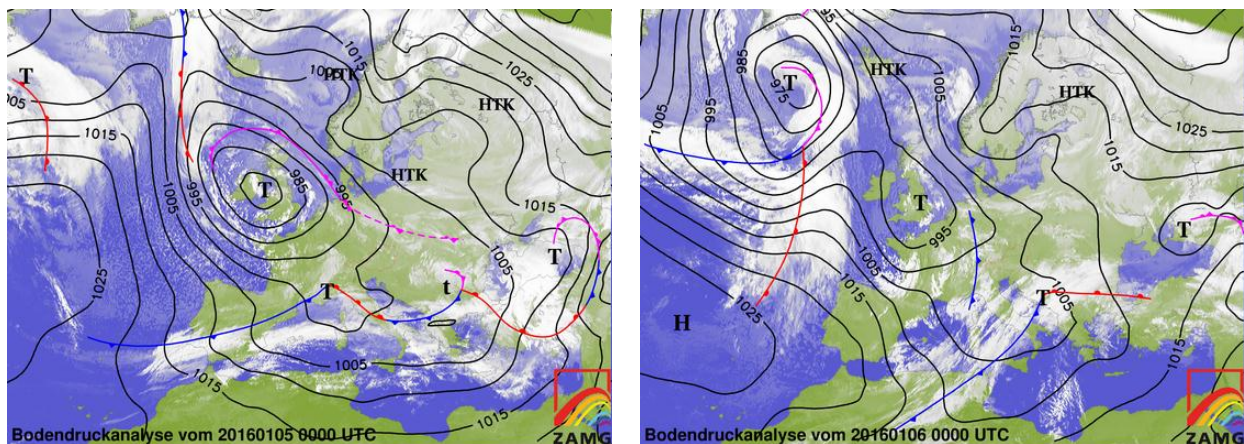


Abbildung 8 Großräumige Bodendruckanalysekarten mit Satellitenbild am 5. Jänner und 6. Jänner 2016 jeweils 0 UTC.

Wie in den vorher dargestellten Bodendruckanalysekarten ersichtlich, beeinflusst das Hochdruckgebiet östlich von Österreich ab 2. Jänner 2016 das Wettergeschehen im Osten Österreichs. Die Abbildungen der gemessenen Windrichtung im Burgenland (Abbildung 9, links) und im östlichen Niederösterreich (Abbildung 9, rechts) zeigen von 2. Jänner bis zum 6. Jänner 2016 hauptsächlich Windrichtungen aus östlichen bis südöstlichen Richtungen. In Kittsee wurden Winde aus nordöstlichen Richtungen registriert. In Kaiser (2011) wurde gezeigt, dass die bodennahen nordöstlichen Winde in Kittsee auf den Einfluss der Kleinen Karpaten zurückzuführen sind. Bei großräumiger Strömung aus Südost und bei vorherrschender stabiler Schichtung bilden diese ein Strömungshindernis, wodurch die Luft in bodennahen Schichten gezwungen wird, die Hügelzüge zu umströmen.

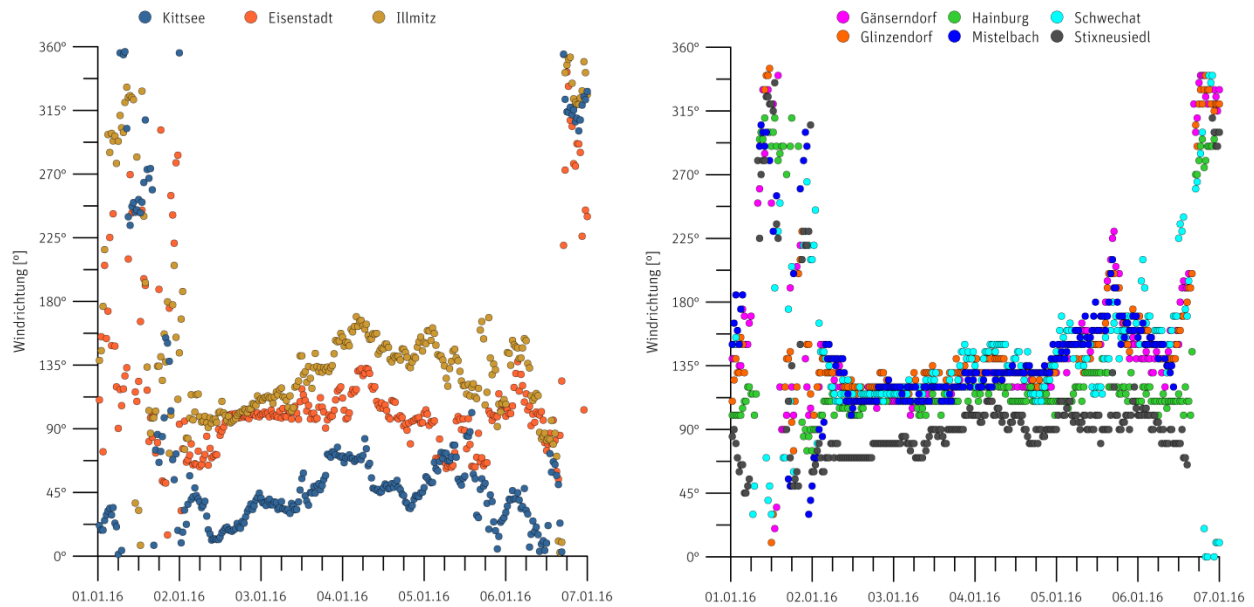


Abbildung 9 Windrichtungsmessungen der burgenländischen Messstationen (links) und der niederösterreichischen Messstationen (rechts) im Zeitraum 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

Exemplarisch für den 4. Jänner 2016 ist in Abbildung 9 die Windrichtung und Windgeschwindigkeit für Österreich aus einer INCA-Analyse (Kapitel 2.7.3) dargestellt. Wie auch die Messungen der Messstationen schon gezeigt haben, herrscht im Osten Österreichs sowie in den östlichen Nachbarländern Wind aus südöstlichen Richtungen. Die sehr lokalen Windverhältnisse in Kittsee können von INCA, aufgrund der Modellauflösung, nicht wiedergegeben werden.

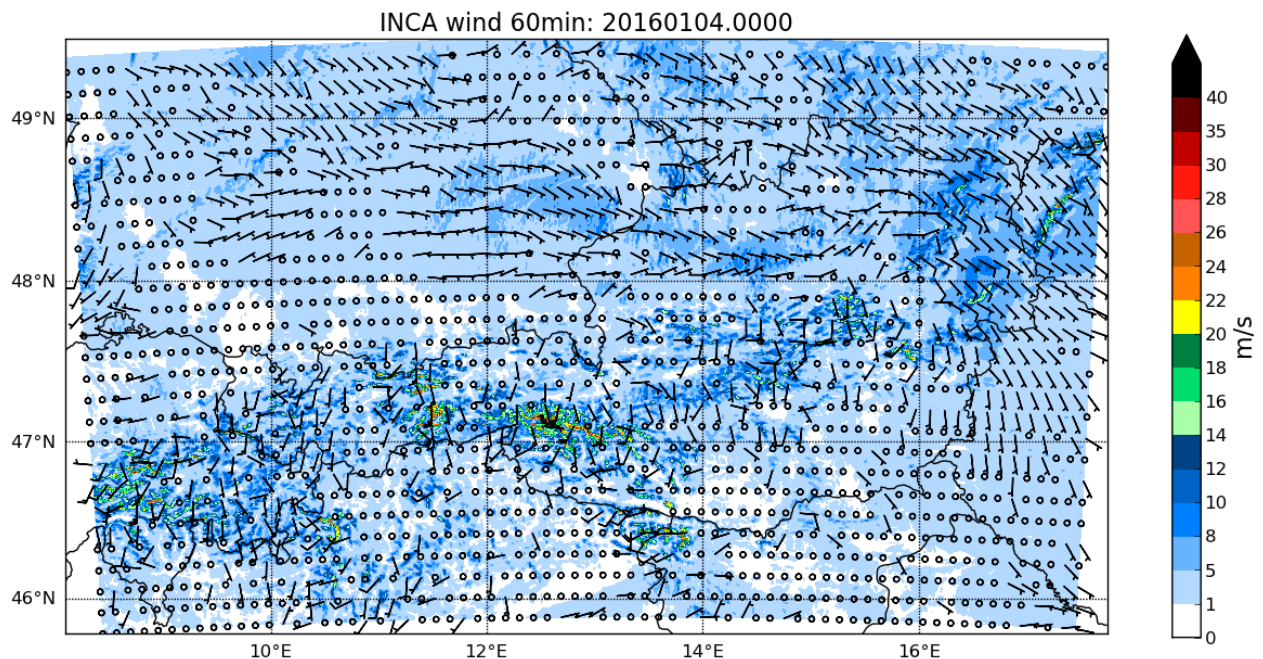


Abbildung 10 INCA Windanalyse vom 4. Jänner 2016 0 UTC.

Die Windmessungen des SODARs am Flughafen Wien sind als Vektorplot in Abbildung 11 dargestellt. Die Richtung der Pfeile in der Abbildung gibt die Windrichtung wieder, die Länge der Pfeile repräsentiert die Windgeschwindigkeit. Ab dem 2. Jänner 2016 wurden in allen Höhenschichten durchwegs Winde aus südöstlichen Richtungen registriert. Erst in den Abendstunden des 6. Jänners dreht der Wind auf nördliche bzw. nordwestliche Richtungen (vgl. Abbildung 9).

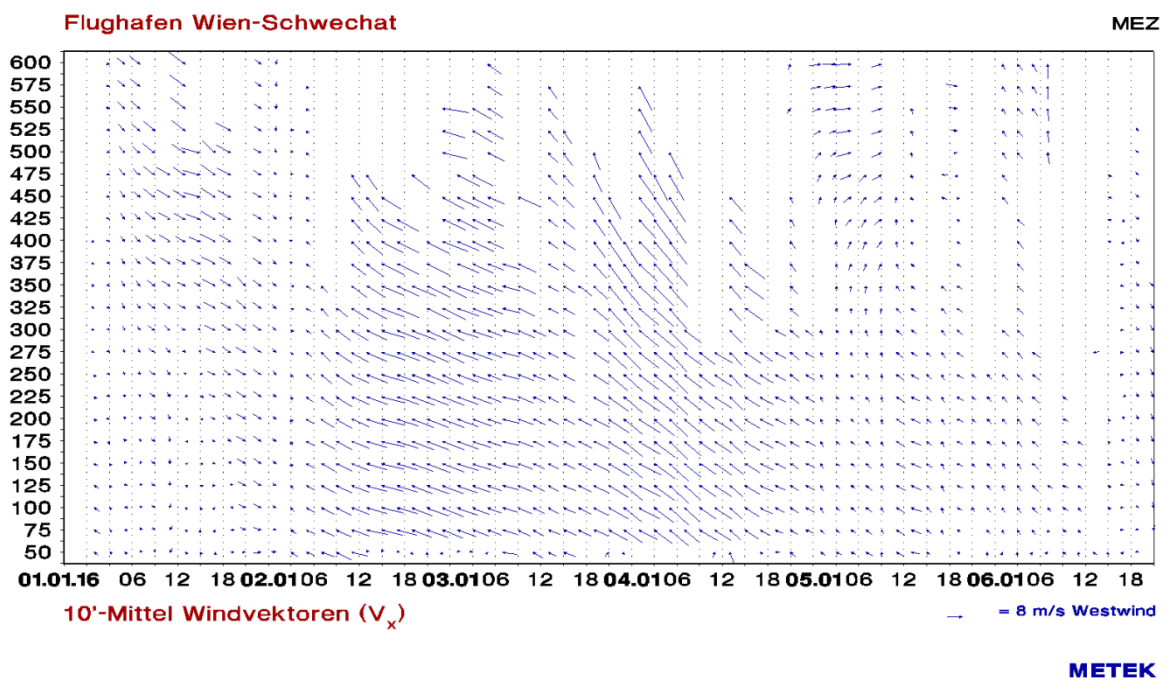


Abbildung 11 SODAR-Messungen der Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Flughafen Wien-Schwechat im Zeitraum 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

Um die vertikale Schichtung auch für die angrenzenden Länder beschreiben zu können, werden Messdaten der Radiosonde in Budapest herangezogen. Die gemessene vertikale Temperaturschichtung im Zeitraum 1. Jänner bis 6. Jänner 2016 ist in Abbildung 12 dargestellt. In jedem Radiosondenaufstieg ist eine abgehobene Inversion (Temperaturanstieg mit der Höhe) erkennbar. Am Anfang des betrachteten Zeitraums liegt die Inversion in einer Höhe von etwa 1000 m ü.G. Ab 5. Jänner ist die abgehobene Inversion mit einer Temperaturerhöhung um fast 10°C deutlich ausgeprägter und liegt auch niedriger als an den vorangegangenen Tagen. Auch am letzten Tag des Zeitraums zeigt sich die Inversionsschicht deutlich niedriger als zuvor. Temperaturinversionen wirken wie eine Sperrschicht in der Atmosphäre. Der Austausch zwischen den Luftschichten unterhalb und oberhalb der Temperaturinversion wird unterbunden, weshalb Schadstoffe unterhalb der Inversionsschicht gehalten werden und diese unterhalb der Inversionsschicht weit transportiert werden können.

Die Windrichtungsmessungen der Radiosonde in Budapest (Abbildung 13) zeigen ein ähnliches Bild wie die SODAR-Messungen am Flughafen Wien-Schwechat (Abbildung 11). Ab dem 2. Jänner werden in den untersten Schichten hauptsächlich Winde aus östlichen Richtungen gemessen.

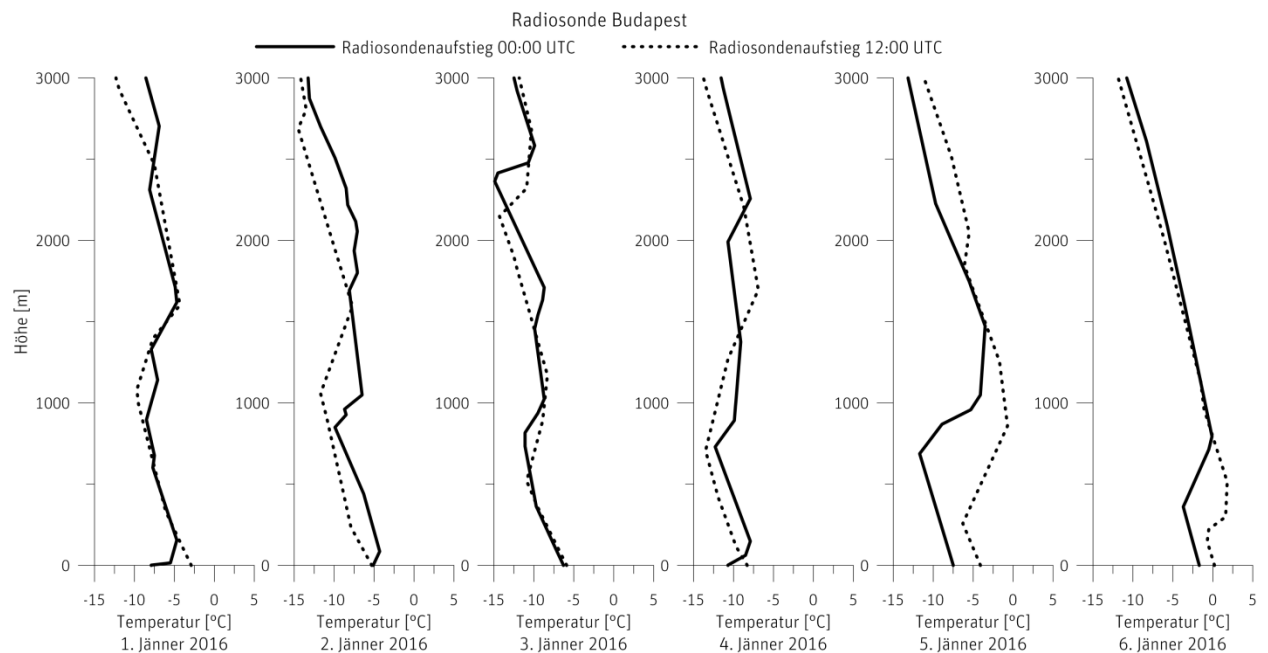


Abbildung 12 Radiosonden-Messungen der vertikalen Temperaturschichtung in Budapest von 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

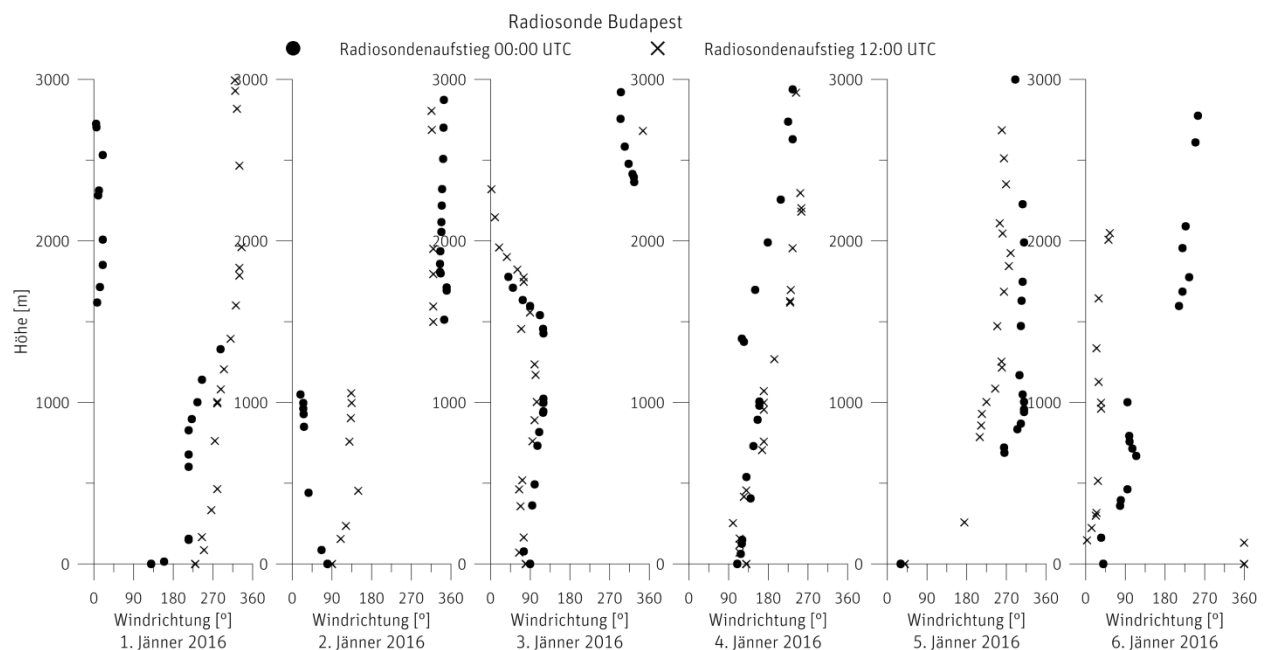


Abbildung 13 Radiosonden-Messungen der Windrichtung in Budapest von 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

Die vertikale Schichtung der Atmosphäre ist auch sehr gut in den Messungen des Ceilometers (Kapitel 2.2) in Wien Hohe Warte erkennbar. Zusätzlich ist neben den Rückstreuintensitäten die Temperaturmessung der Radiosonde in Wien Hohe Warte dargestellt. Am 5. Jänner ist im Temperaturprofil der Radiosonde eine

ausgeprägte abgehobene Inversion in einer Höhe von etwa 500 m ü.G. zu erkennen. Die vorherrschende Temperaturinversion unterbindet den vertikalen Austausch, weshalb sich die Aerosole in der Grenzschicht ansammeln. Unterhalb der Inversion können die Aerosole über weite Strecken transportiert werden. Die Rückstreuintensitäten sind in Bereichen mit erhöhter Aerosoldichte am intensivsten (in der Abbildung rot dargestellt) und liegen unterhalb der Temperaturinversion. Am 6. Jänner liegt die Temperaturinversion in Wien Hohe Warte etwas niedriger als am Vortag, was auch in den Ceilometer-Messungen gut zu erkennen ist.

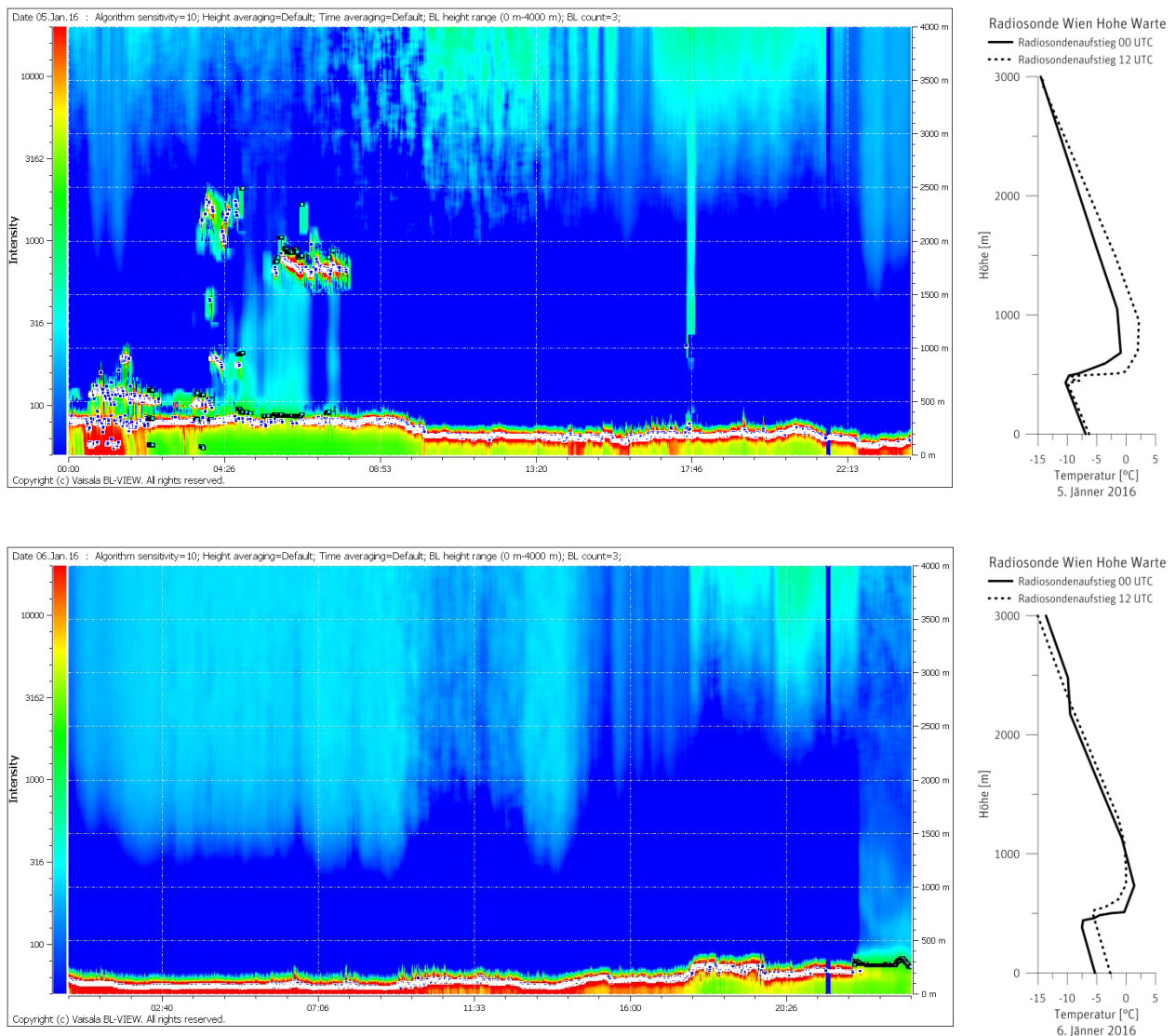


Abbildung 14 Rückstreuintensitäten des Ceilometers und Messung der vertikalen Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte, 5. Jänner (oben) und 6. Jänner 2016 (unten).

3.1.3 Emissionsdaten

Für die Auswertung der Emissionsdaten der ersten Episode (Dienstag 5. Jänner bis Mittwoch 6. Jänner 2016) wurden die Emissionen der ersten drei Wochentage der zweiten Jänner-Woche eines

Standardjahres übernommen (Kapitel 2.5.1), das sind die fortlaufenden Stunden 169 bis 240, d.s. insgesamt 72 Stunden.

In Tabelle 7 sind die mittleren SO₂-Emissionsstärken für das betrachtete Untersuchungsgebiet angegeben. Die mittlere stündliche Emissionsstärke über die drei Tage beträgt 66,6 g/(km²*h), das ist um etwa 22% höher als über das ganze Jahr gerechnet. Das ergibt sich in erster Linie aus etwas höheren Beiträgen der Industrie und der Haushalte, während der relative Anteil des Gewerbes zwar deutlich höher ist als im Gesamtjahr, aber dessen absolute Beiträge dennoch sehr gering sind und deshalb die relativen Erhöhungen nicht ins Gewicht fallen.

Die Verursacherverteilung ist während der betrachteten Tage ähnlich wie im Gesamtjahr. Die Industrie liefert mit etwa 75% den bei weitem stärksten Beitrag zu den Emissionen. Davon tragen die Raffinerie in Schwechat und ein Zementwerk in der Nähe von Mannersdorf, welche etwa 45 km westlich bzw. südwestlich der Messstation Kittsee liegen, den größten Anteil bei.

Tabelle 7 Mittlere SO₂-Emissionsstärken während der 1. Episode im gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich zum Gesamtjahr.

	Episode 1		Jahr	
	g/(km ² *h)	Anteil %	g/(km ² *h)	Anteil %
F Infrastruktur (Ver-und Entsorgung, öff. Verkehr)	2,59	4%	2,61	5%
G Gewerbe und öff. Gebäude	3,09	5%	2,23	4%
H Haushalte	10,55	16%	5,84	11%
I Industrie	49,84	75%	43,20	79%
N Natur & Landwirtschaft	0,01	0%	0,28	1%
V Verkehr auf Straßen	0,51	1%	0,54	1%
Summe aller Verursacher	66,60	100%	54,70	100%

Räumlich betrachtet zeigt sich, dass die Emissionsstärken generell niedrig sind (Abbildung 15). Etwa 87% aller Rasterzellen liegen unter dem (ohnedies geringen) Mittelwert. In nur 2 der insgesamt 10.181 Rasterzellen (in der Raffinerie) liegen die Emissionsstärken über einem Wert von 100.000 g/(km²*h), in 2 weiteren Rasterzellen (im Zementwerk) über einem Wert von 5.000 g/(km²*h). Alle diese Rasterzellen sind etwa 45 km von der Messstation entfernt.

In nur 8 weiteren Rasterfeldern liegen die Emissionsstärken über einem Wert von 1.000 g/(km²*h). Dazu gehören die Umgebung des Industriegebiets Schwechat, die Umgebung von Mannersdorf sowie die Gewerbegebiete Eisenstadt und Bruck an der Leitha. Die Emissionsstärken aller anderen Rasterfelder liegen weit darunter.

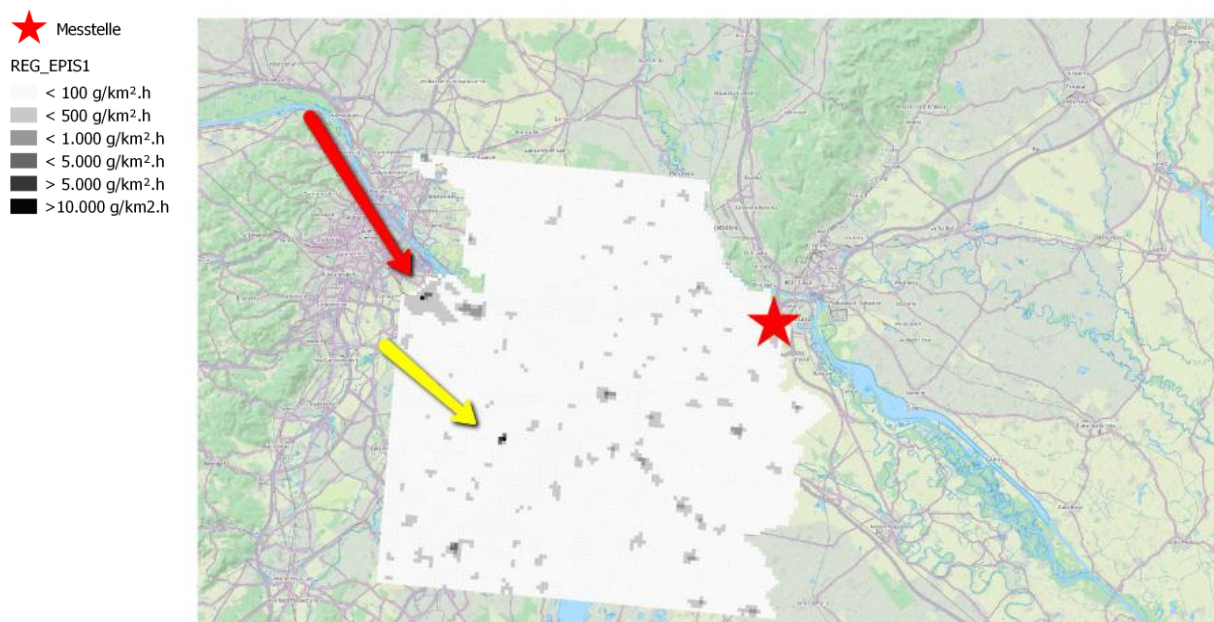


Abbildung 15 Verteilung der Emissionsstärken im gesamten Untersuchungsgebiet für die 1. Episode. Der rote Pfeil zeigt auf die beiden Rasterfelder mit einer Emissionsstärke von $> 100.000 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$. Der gelbe Pfeil zeigt auf die beiden Rasterfelder mit Emissionsstärken $> 5.000 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$.

In der näheren Umgebung der Messstation Kittsee beträgt die mittlere stündliche Emissionsstärke über die drei betrachteten Tage $16,5 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$, das ist um knapp 55% höher als über das ganze Jahr gerechnet (Tabelle 8).

Die Erhöhung ergibt sich aus den deutlich höheren Beiträgen der Haushalte durch die schwerpunktmäßige Raumheizung im Winter. Auch der Anteil des Gewerbes und der öffentlichen Gebäude ist im Winter deutlich höher als im Gesamtjahr. Bei den anderen Verursacherkategorien ist der saisonale Effekt weniger stark ausgeprägt.

Die Verursacherverteilung in der betrachteten Episode unterscheidet sich deutlich von der eines Gesamtjahres. Die Haushalte tragen mit etwa 66% bei weitem am stärksten zu den Emissionen bei, sie treten als flächige Emissionsquellen mit niedrigen Austrittshöhen und geringem Volumenstrom über die gesamte Umgebung verstreut auf.

Tabelle 8 Mittlere SO₂-Emissionsstärken während der 1. Episode in der unmittelbaren Umgebung der Messstation Kittsee im Vergleich zum Gesamtjahr.

	Episode 1		Jahr	
	g/(km ² *h)	Anteil %	g/(km ² *h)	Anteil %
F Infrastruktur (Ver- und Entsorgung, öff. Verkehr)	0,49	3%	0,49	5%
G Gewerbe und öff. Gebäude	3,56	22%	2,57	24%
H Haushalte	10,91	66%	6,04	56%
I Industrie	1,26	8%	1,09	10%
N Natur & Landwirtschaft	0,01	0%	0,22	2%
V Verkehr auf Straßen	0,28	2%	0,30	3%
Summe aller Verursacher	16,51	100%	10,70	100%

Räumlich betrachtet zeigt sich, dass die Emissionsstärken generell niedrig sind (Abbildung 16). Etwa 84% aller Rasterzellen liegen unter dem (ohnedies geringen) Mittelwert. In keiner Zelle liegt die Emissionsstärke über 1.000 g/(km²*h). Nur eine einzige Rasterzelle weist einen Wert von 500 g/(km²*h) auf. 39 weitere Zellen zeigen Werte über 100 g/(km²*h), alle anderen liegen meist deutlich darunter. Die Rasterfelder mit den etwas höheren Emissionsdichten sind über die größeren Ortschaften verstreut: Bad Deutsch-Altenburg, Hainburg, Kittsee, Pama, Hundsheim etc. Es handelt sich dabei vor allem um Haushalte und Gewerbebetriebe, also Flächenquellen mit geringen Emissionshöhen. Emissionen aus Industriebetrieben spielen in der Umgebung der Messstation kaum eine Rolle.

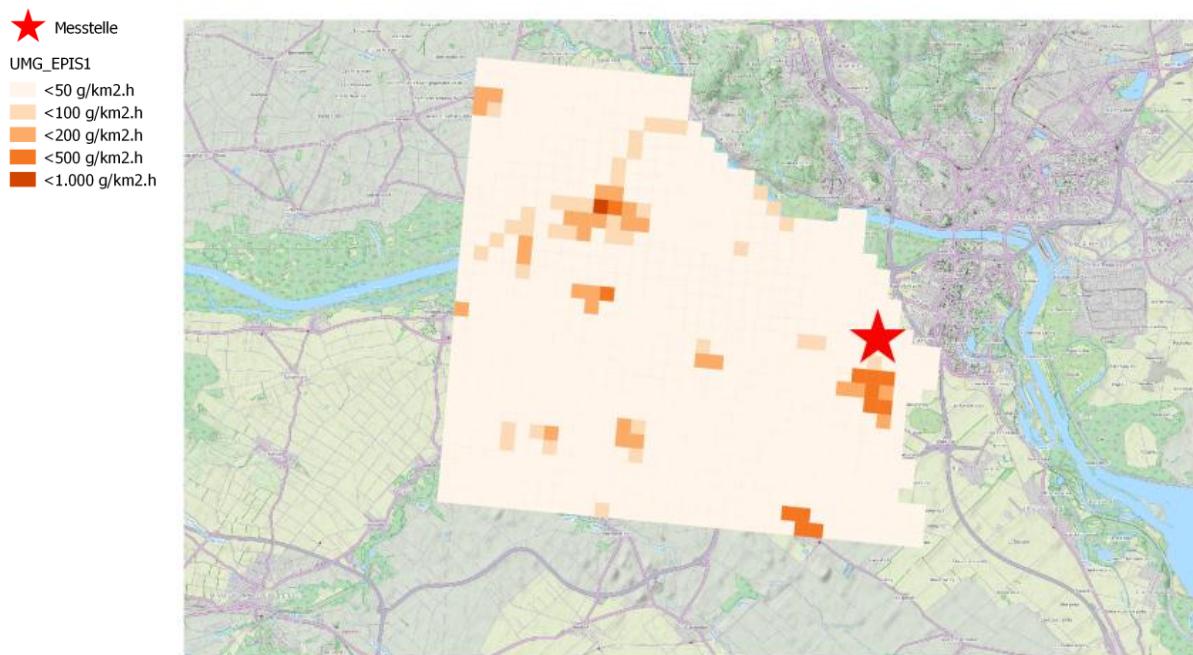


Abbildung 16 Verteilung der Emissionsstärken in der unmittelbaren Umgebung der Messstation Kittsee für die 1. Episode. In einer einzigen Rasterzelle (im Ortskern Hainburg) liegt der Wert über 500 g/(km²*h), sonst überall darunter.

3.1.4 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.7.1) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das Herkunftsgebiet der gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 17 dargestellt. Die Berechnung wurde in 3-Stunden-Schritten durchgeführt. Die in den Abbildungen angegebene Uhrzeit gibt den Anfang des betrachteten Zeitfensters an, d.h. die Abbildung für den 6. Jänner 3 UTC ist für den Zeitraum 6. Jänner 3 UTC bis 6 UTC repräsentativ. Als Startdatum wurde der 6. Jänner 2016 um 6 UTC gewählt, da die höchste gemessene SO₂-Konzentration in diesem 3-Stunden Fenster gemessen wurde. Je höher der Faktor [1/m³] in den dargestellten QRS-Feldern (Quell-Rezeptor-Sensitivität) ist, desto höher ist der Beitrag des Gebietes an der gemessenen SO₂-Konzentration, vorausgesetzt, ein SO₂-Emittent ist in diesem Gebiet situiert. Die Abbildungen zeigen also die Gebiete, die die Luft in den 33 Stunden, bevor sie nach Kittsee transportiert worden ist, überquert hat. Je weiter man in der Zeit zurückgeht, desto größer wird das Herkunftsgebiet. Am 4. Jänner 2016 21 UTC, also 33 Stunden vor der Ankunft in Kittsee, lag die Luft im nördlichen Serbien, Kroatien und Bosnien Herzegowina. Mit voranschreitender Zeit überquerte das Luftvolumen Ungarn sowie die südwestliche Slowakei und konnte dort, je nachdem, ob SO₂-Emittenten aktiv waren, SO₂ mit der Luftströmung mittransportieren, was dann schlussendlich zu der gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung in Kittsee geführt hat. Die FLEXPART Rückwärtsrechnungen zeigen also, dass die Luft von Gebieten östlich bzw. südlich von Österreich nach Kittsee herantransportiert worden ist, was auch mit den Messungen der Immissionsmessstationen, welche Winde aus Südost bzw. Ost gemessen haben, konform geht.

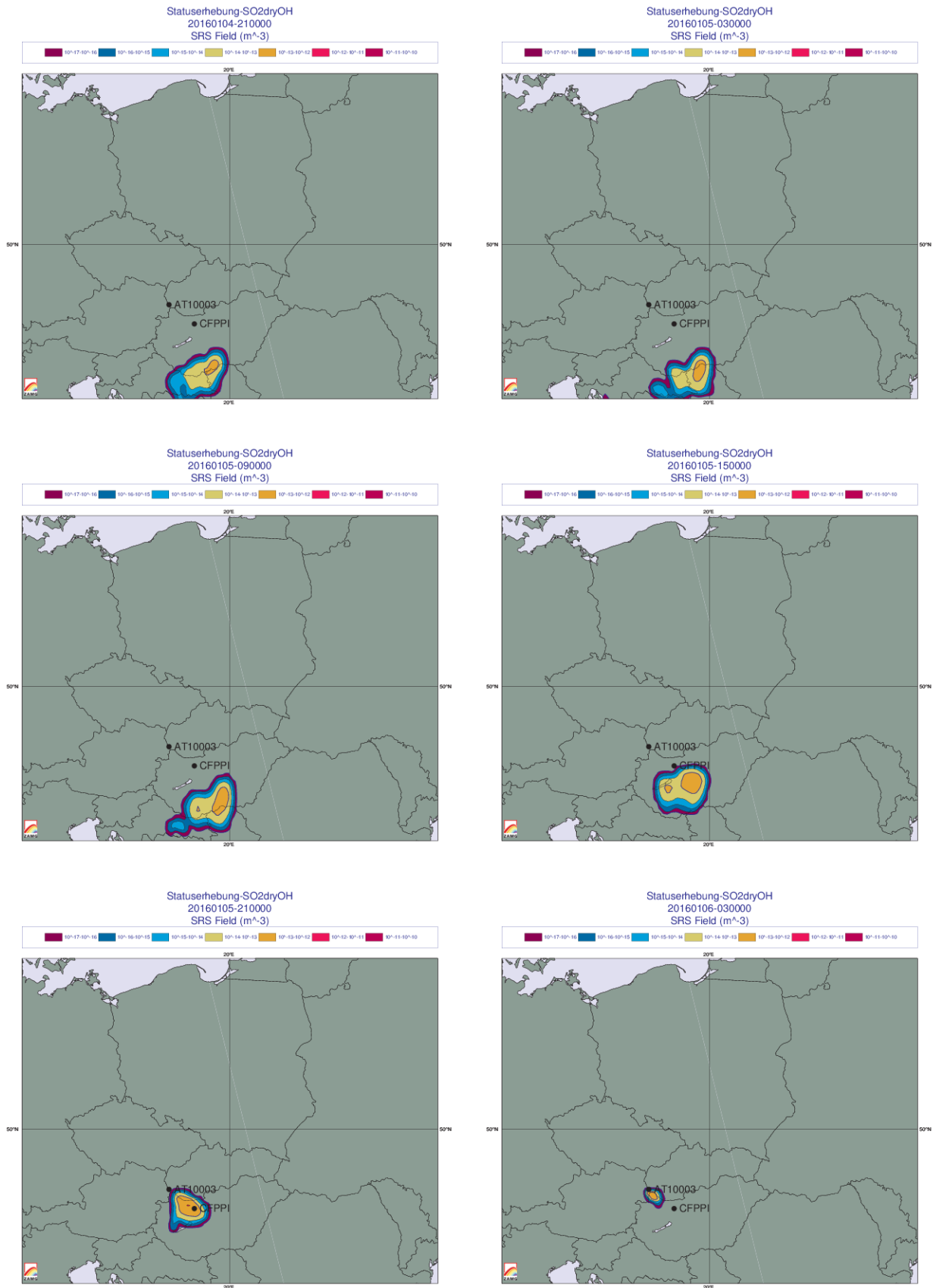


Abbildung 17 QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft von 4. Jänner 21 UTC bis 6. Jänner 2016 3 UTC, alle 6 Stunden. Startdatum der Rückwärtsrechnung: 6. Jänner 2016 6 UTC. (AT10003 ... Immissionsmessstation Kittsee, CFPP1 ... potentielle SO₂-Quelle in Ungarn).

Die Vorwärtsrechnungen wurden mit dem chemischen Transportmodell WRF-Chem (Kapitel 2.7.2) durchgeführt. In Abbildung 18 sind die Ergebnisse für den Zeitraum 5. Jänner 12 UTC bis 6. Jänner 2016 3 UTC dargestellt. Die WRF-Chem Simulationen zeigen deutlich den Transport der SO₂-Konzentrationen von SO₂-Emittenten in den östlichen Nachbarländern in Richtung Ostösterreich. Wie in Kapitel 2.7.2 beschrieben wird, werden für die WRF-Chem Simulation mittlere zeitliche Verläufe für die Emissionskatasterdaten verwendet. Dennoch konnte mit der Modellierung auch die Höhe der gemessenen SO₂-Konzentration gut wiedergegeben werden. Die Kombination dieser Ergebnisse mit den FLEXPART Berechnungen macht deutlich, dass die Herkunftsgebiete der SO₂-Grenzwertüberschreitung nicht in Österreich liegen, sondern in Ländern östlich bzw. südöstlich von Österreich.

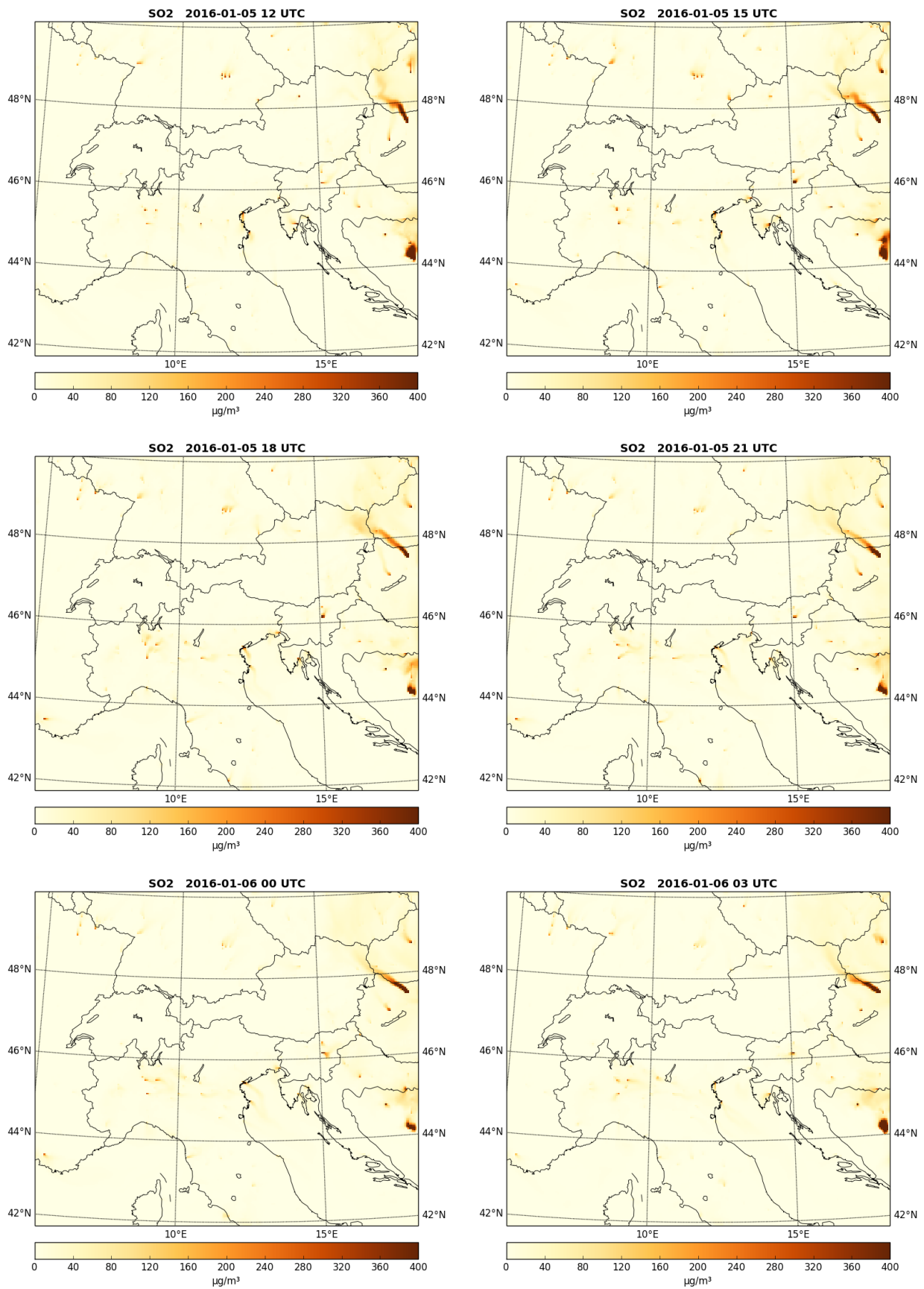


Abbildung 18 WRF-Chem Vorwärtsberechnungen der SO₂-Konzentrationen von 5. Jänner 12 UTC bis 6. Jänner 2016 3 UTC.

3.1.5 Zusammenfassende Analyse der SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 5. und 6. Jänner 2016

Die Überlagerung der gemessenen Windrichtung und Windgeschwindigkeit mit den SO₂-Messungen der Station Kittsee im Zeitraum von 1. Jänner bis 6. Jänner 2016 ist in Abbildung 19 dargestellt. Nach einer langandauernden Strömung aus östlichen Richtungen (Nordost in Kittsee) kam es am 5. und 6. Jänner 2016 zu den gemessenen SO₂-Überschreitungen in Kittsee. Die Auswertungen der meteorologischen Messungen der Bodenmessstationen gemeinsam mit den Fernerkundungsmessgeräten (SODAR, Radiosonde, Ceilometer) zeigen deutlich, dass zum Zeitpunkt der Grenzwertüberschreitungen eine abgehobene Inversion über dem Osten Österreichs sowie den östlichen Nachbarländern vorherrschend war, welche den vertikalen Austausch unterbunden hat und somit einen weiten Transport der SO₂-Konzentration ermöglichte. Die langandauernde, großräumige Südost-Strömung lässt darauf schließen, dass die Verursacher der gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitungen in SO₂-Emittenten östlich von Kittsee zu finden sind.

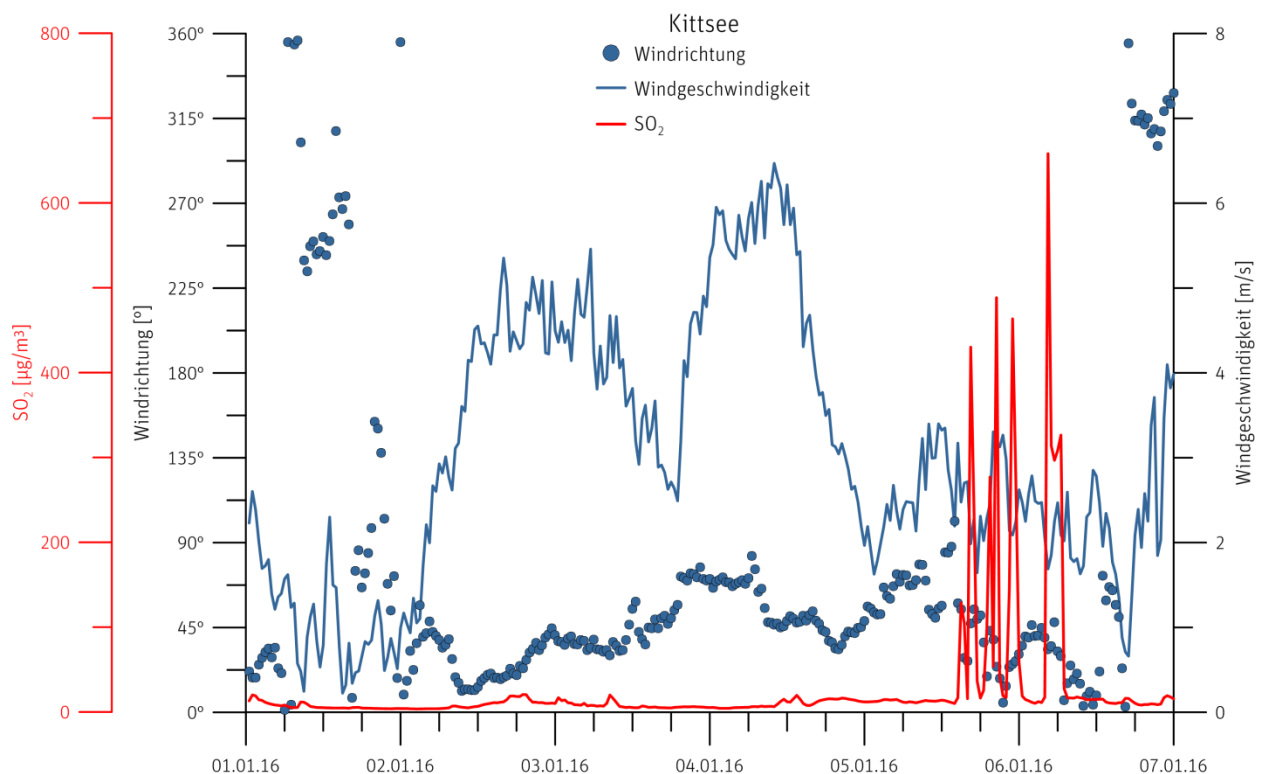


Abbildung 19 Windrichtung, Windgeschwindigkeit und SO₂-Konzentrationen gemessen an der Station Kittsee im Zeitraum 1. Jänner bis 6. Jänner 2016.

Wie in Kapitel 2.7.2 bereits erwähnt wurde, werden als Grundlage für die Simulationen mit dem chemischen Transportmodell mittlere Emissionswerte verwendet, die in außergewöhnlichen Emissionssituationen von den realen Emissionen abweichen können. Weiters beinhalten die Modellsimulationen zusätzlich Unsicherheiten (z.B. Meteorologie, Emissionshöhe,...) und stellen kein

exaktes Abbild der Realität dar. Die Modelle liefern jedoch durch die Simulation komplexer Transportprozesse basierend auf Emissionsinventaren Indikatoren dafür, aus welchen Gebieten die potenziellen Verursacher kommen können und bestätigen in diesem Fall zusammen mit den Messdaten und der Analyse der Emissionsdaten aus dem österreichischen Emissionskataster und der LPC-Datenbank die folgenden Punkte:

- Vorherrschende Windrichtung aus Ost/Südost und somit Transporte von SO₂ aus östlichen Richtungen.
- Es herrschen stabile Ausbreitungsbedingungen -> durch die vorherrschende großräumige abgehobene Temperaturinversion ist der vertikale Austausch in der Atmosphäre begrenzt, weshalb Schadstoffe unterhalb der Inversionsschicht gehalten werden und über weite Strecken transportiert werden können. Somit tragen entweder sehr nahe niedrige Quellen oder Quellen aus weiterer Entfernung zur gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung bei.
- Die vom AIT durchgeführte Analyse der österreichischen Emissionsdaten ergibt, dass der überwiegende Anteil der SO₂-Emissionen aus dem Sektor Industrie stammt. In der größeren Umgebung von Kittsee befinden sich 2 SO₂-Emissionsquellen (Raffinerie Schwechat, Zementwerk Mannersdorf), welche etwa 45 km westlich bzw. südwestlich der Messstation Kittsee liegen. Durch die schwerpunktmäßige Heizung im Winter trägt auch die Kategorie Haushalt zu den SO₂-Emissionen bei. Räumlich betrachtet sind die Emissionsstärken in der unmittelbaren Umgebung von Kittsee relativ niedrig. Die Datenbank der Large Combustion Sources (LPC-Datenbank) zeigt, dass mehrere große SO₂-Emittenten in Ungarn und der Slowakei zu finden sind: Auf slowakischer Seite zeigt das European Power Heizkraftwerk in Bratislava, welches nur 8 km Luftlinie entfernt von Kittsee liegt, ähnlich hohe SO₂-Emissionen, wie alle 4 Anlagen der Raffinerie Schwechat gemeinsam, die jedoch deutlich weiter entfernt sowie im gegenständlichen Fall windabwärts liegen. Auf ungarischer Seite zeigt das Kraftwerk Vértesi Oroszlányi, welches etwa 110 km südöstlich von Kittsee liegt, sehr hohe jährliche SO₂-Emissionen (2.685 t/Jahr).
- Herkunftsanalysen mit dem Partikelmodell FLEXPART im Rückwärtsmodus sowie Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell WRF-Chem basierend auf Emissionsinventaren zeigen, dass die potenziellen Verursacher aus Industriegebieten nahe Bratislava und westlich von Budapest kommen. Die erhöhten Konzentrationen kommen insbesondere bei dieser Episode durch eine Überlappung dieser beiden Abgasfahnen zustande, wobei das Kraftwerk in Ungarn (KW Oroszlányi), obwohl es deutlich weiter entfernt von Kittsee liegt, einen höheren Anteil an der gemessenen SO₂-Konzentration als das Heizkraftwerk in Bratislava (Slovnaft) liefert.

3.2 SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 29. Februar 2016

3.2.1 Immissionsituation

Die Immissionsmessstation in Kittsee weist sowohl im Halbstundenmittelwert (HMW) als auch im Tagesmittelwert (TMW) die höchsten SO₂-Konzentrationen im Burgenland auf (siehe Kapitel 2.4). Am 29. Februar 2016 wurden in Kittsee mehrere Überschreitungen des SO₂-HMW-Grenzwertes (200 µg/m³) gemessen (Abbildung 20, links). Der Grenzwert wurde dabei an 3 aufeinanderfolgenden Halbstunden überschritten: Um 14:00 Uhr wurde eine SO₂-Konzentration von 229,2 µg/m³, um 14:30 Uhr 384,7 µg/m³ und um 15:00 Uhr 218,3 µg/m³ gemessen. Am 28. Februar 2016 registrierte die Messstation leicht erhöhte SO₂-Konzentrationen, die jedoch deutlich unterhalb des Grenzwerts lagen. Auch nach der gemessenen Grenzwertüberschreitung, in der Nacht auf 1. März wurden mit bis zu 50 µg/m³ erhöhte SO₂-Halbstundenmittelwerte gemessen. Die burgenländischen Stationen Eisenstadt und Illmitz zeigen keine eindeutigen SO₂-Spitzen in der betrachteten Periode. Die Immissionsmessstationen im östlichen bzw. nordöstlichen Niederösterreich zeigen ebenfalls kaum erhöhte SO₂-Konzentrationen, lediglich die Station Hainburg, welche in der Nähe von Kittsee liegt (Abbildung 2), zeigt einen Anstieg der SO₂-Konzentrationen auf bis zu 98 µg/m³. Die Messungen der Station Stixneusiedl zeigen ebenfalls eine kurze Spitze in den SO₂-Messungen (Abbildung 20, rechts).

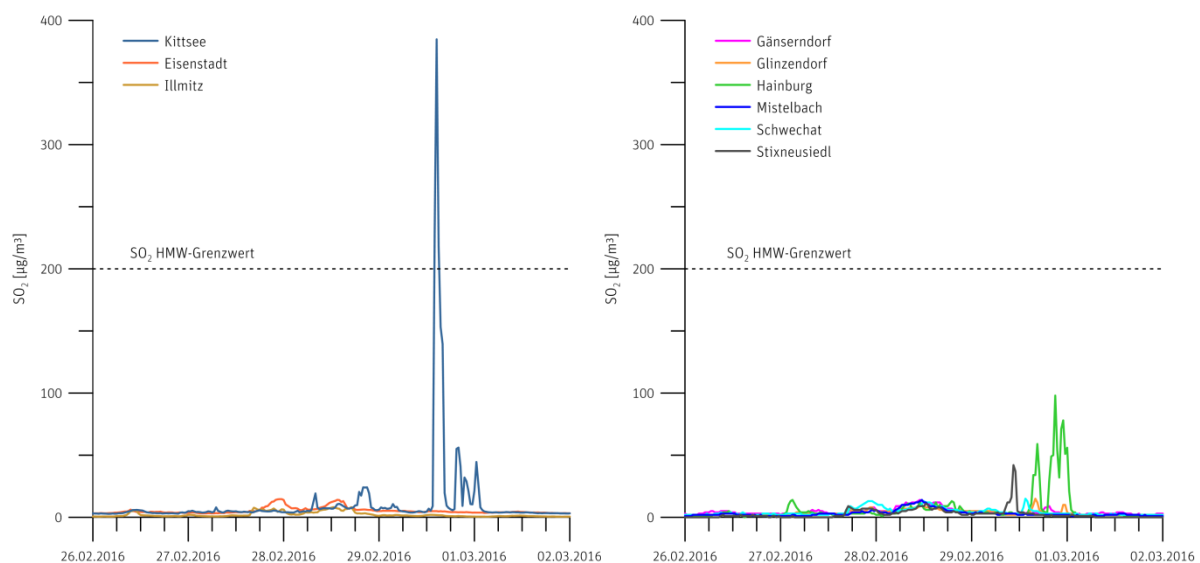


Abbildung 20 SO₂-Messungen im nördlichen Burgenland (links) und SO₂-Messungen im östlichen Niederösterreich von 26. Februar bis 1. März 2016.

3.2.2 Meteorologie

Die Großwetterlage am 28. Februar und 29. Februar ist in Abbildung 21 mittels Bodendruckanalysekarten dargestellt. Zwischen dem Hochdruckgebiet über dem Atlantik und dem Hochdruckgebiet über Osteuropa bzw. Russland liegt eine Hochdruckbrücke quer über dem nördlichen Europa. Ein ausgeprägtes Tiefdruckgebiet zieht südlich von Frankreich in Richtung Golf von Genua. In weiterer Folge zieht das Tief

auf der typischen Vb-Wetterlagen-Zugbahn südlich von Österreich vorbei in Richtung Nordost. Die dazugehörige Warmfront, welche südlich von Kärnten liegt, bedingt stratiforme Bewölkung im Osten Österreichs sowie Winde aus südöstlichen bzw. östlichen Richtungen.

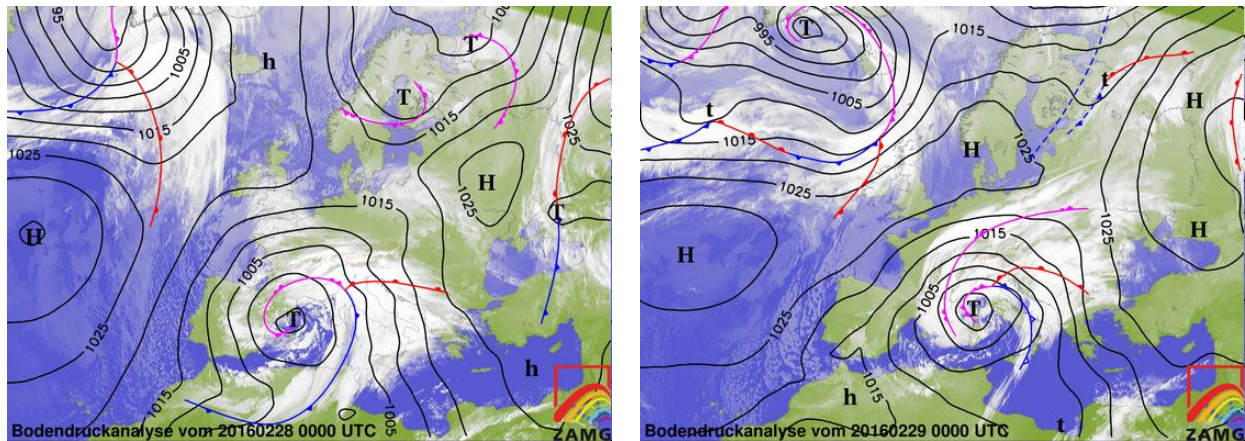


Abbildung 21 Großräumige Bodendruckanalysekarten mit Satellitenbild am 28. Februar und 29. Februar 2016 jeweils um 0 UTC.

In Abbildung 22 sind die gemessenen Windrichtungen im Burgenland (links) und im östlichen Niederösterreich (rechts) dargestellt. Deutlich erkennbar ist die Drehung des Windes mit Herannahen der Warmfront von nordwestlichen Richtungen auf südöstliche Richtungen am 27. Februar 2016. Am 29. Februar werden sowohl im Burgenland als auch in Niederösterreich Winde aus östlichen Richtungen gemessen.

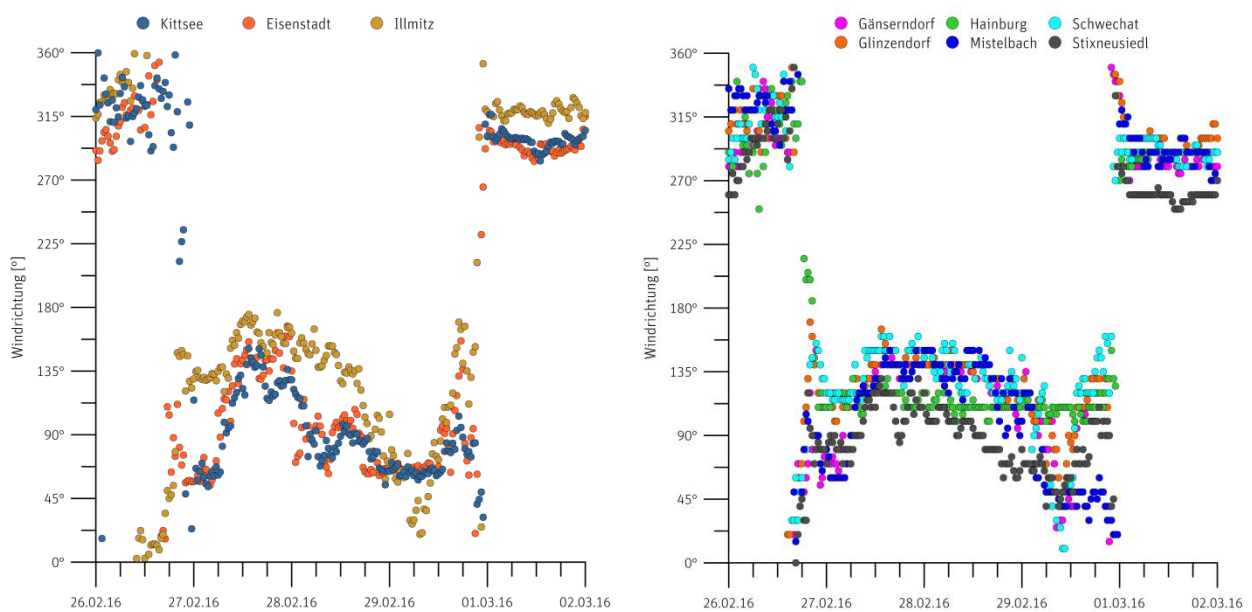


Abbildung 22 Windrichtungsmessungen der burgenländischen Messstationen (links) und der niederösterreichischen Messstationen (rechts) im Zeitraum 26. Februar bis 1. März 2016.

Für den 28. Februar 2016 0:00 UTC ist in Abbildung 23 die Windrichtung und Windgeschwindigkeit für Österreich aus einer INCA-Analyse (Kapitel 2.7.3) dargestellt. Wie auch die Messungen der Messstationen schon gezeigt haben (Abbildung 22), herrscht im Osten Österreichs sowie in den östlichen Nachbarländern Wind aus südöstlichen Richtungen.

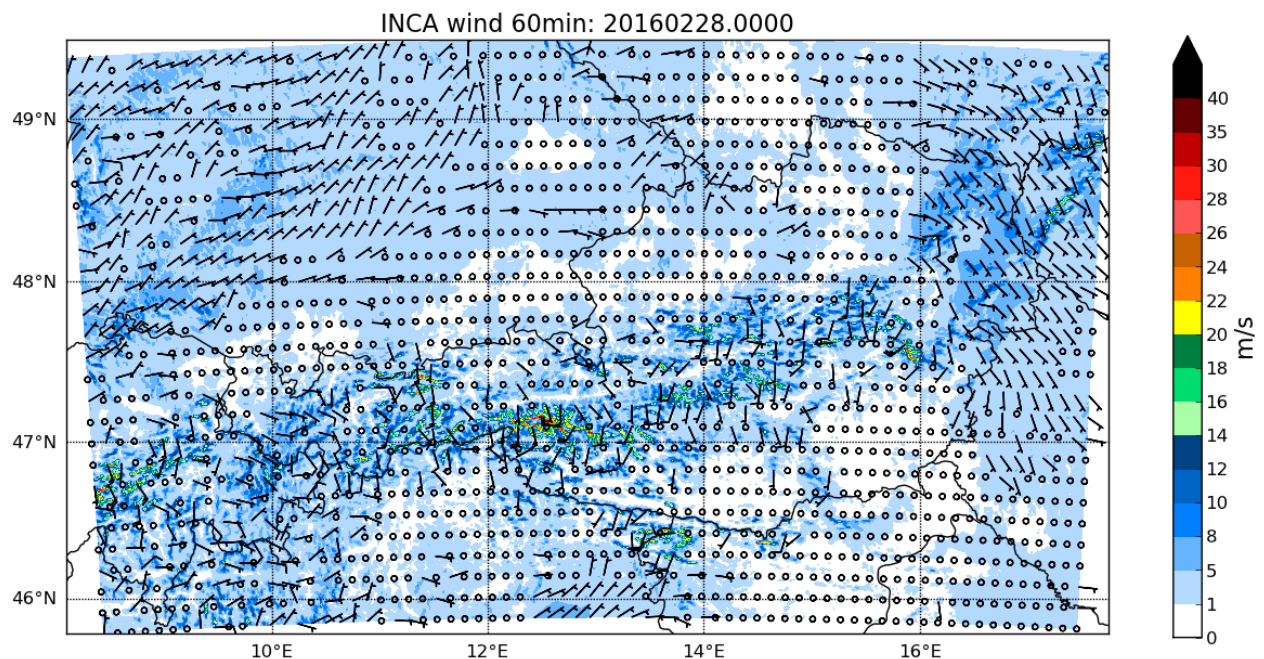


Abbildung 23 INCA Windanalyse vom 28. Februar 2016 0 UTC.

Die Windmessungen des SODARs in Wien-Schwechat sind als Vektorplot in Abbildung 24 dargestellt. Die Richtung der Pfeile gibt die Windrichtung wieder, die Länge der Pfeile repräsentiert die Windgeschwindigkeit. Die vorher beschriebene Drehung des Windes von nordwestlichen Richtungen auf zuerst südöstliche Winde (in der Nacht vom 26. Februar auf den 27. Februar 2016) und schließlich auf eher östliche Winde (am 29. Februar 2016) ist in den Messungen des SODARs gut erkennbar.

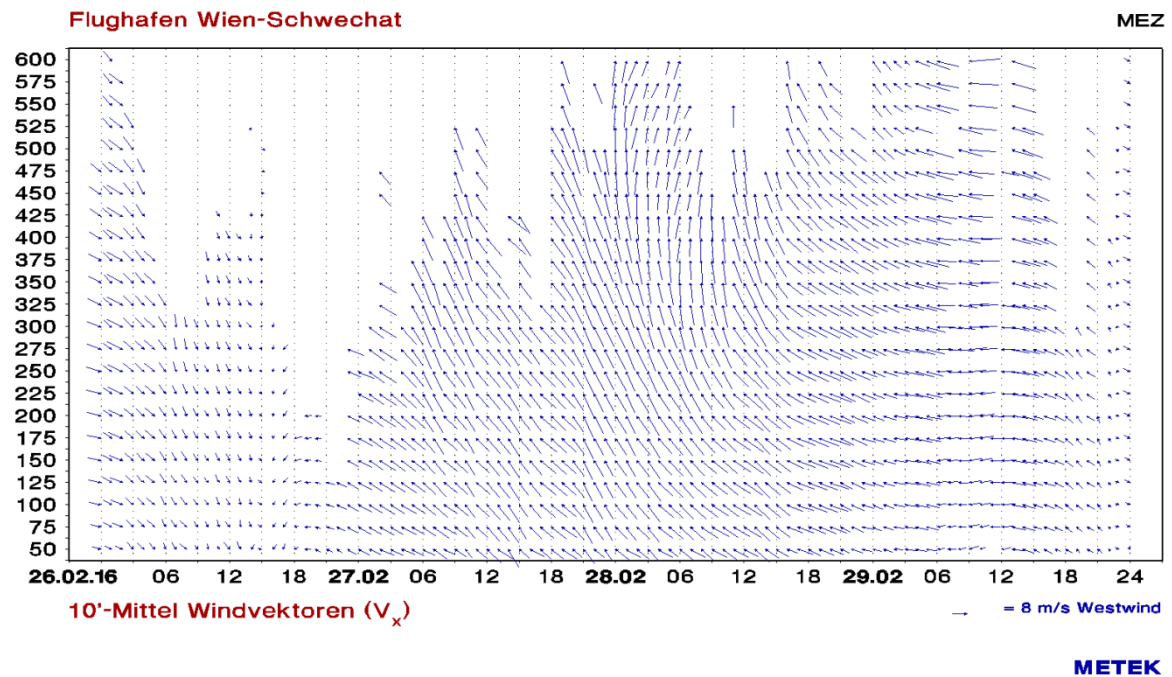


Abbildung 24 SODAR-Messungen der Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Flughafen Wien-Schwechat im Zeitraum 26. Februar bis 1. März 2016.

Um die vertikale Schichtung auch für die angrenzenden Länder beschreiben zu können, werden Messdaten der Radiosonde in Budapest herangezogen. Die vertikale Temperaturschichtung im Zeitraum 26. Februar bis 1. März 2016 ist in Abbildung 25 dargestellt. Im gesamten Zeitraum zeigen die nächtlichen Radiosondenaufstiege eine Bodeninversion. Tagsüber wird zumindest an den ersten 2 Tagen die nächtliche Inversion ausgeräumt, am 28. Februar ist auch tagsüber eine abgehobene Inversion in einer Höhe von etwa 1000 m ü.G. erkennbar.

Ab dem 27. Februar 2016 wurden von der Radiosonde in Budapest in den untersten Schichten durchgehend Winde aus östlichen Richtungen gemessen (Abbildung 26). Mit der Höhe dreht der Wind dann auf südöstliche bis südliche Winde. Die Messungen zeigen ein ähnliches Bild wie die SODAR-Messungen am Flughafen in Wien-Schwechat (vgl. Abbildung 24).

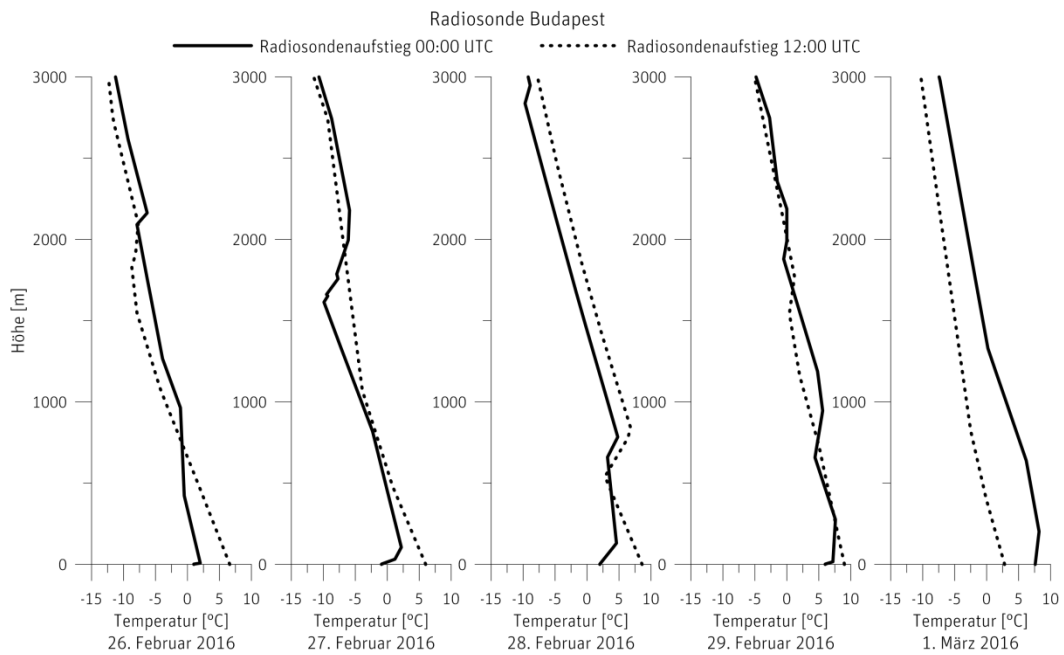


Abbildung 25 Radiosonden-Messungen der vertikalen Temperaturschichtung in Budapest von 26. Februar bis 1. März 2016.

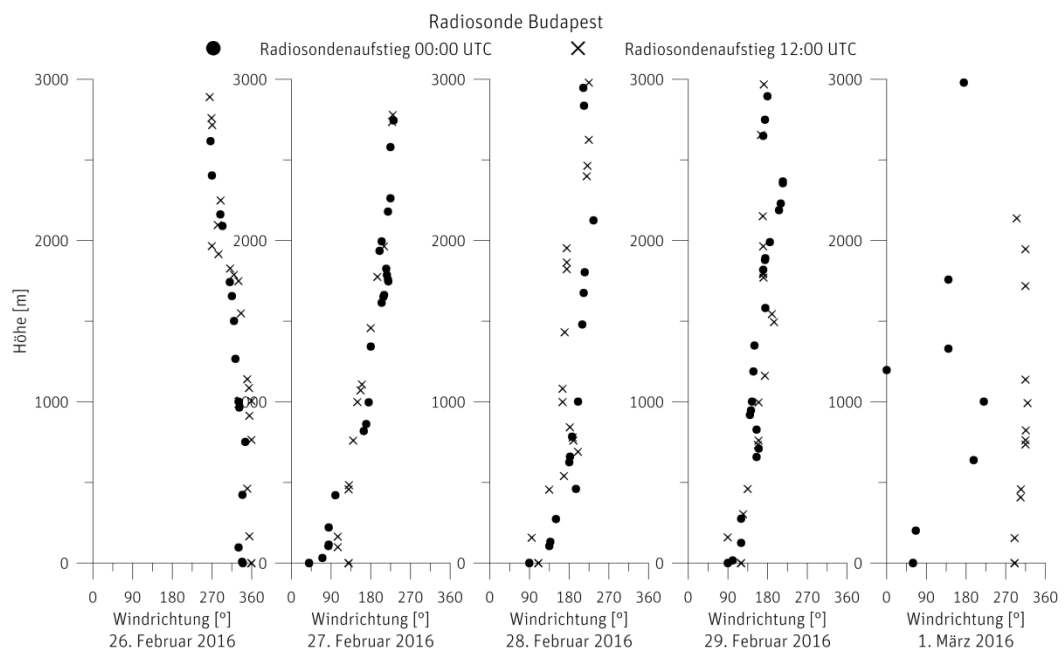


Abbildung 26 Radiosonden-Messungen der Windrichtung in Budapest von 26. Februar bis 1. März 2016.

Mit den Ceilometer-Messungen in Wien Hohe Warte lässt sich ebenfalls sehr gut auf die vertikale Schichtung der Atmosphäre schließen. In Abbildung 27 sind die Rückstreuintensitäten (Ceilometer) und die Temperaturmessungen der Radiosonde von Wien Hohe Warte vom 28. Februar und 29. Februar 2016 dargestellt. Am 28. Februar herrscht eine Temperaturinversion in einer Höhe von etwa 500 m, welche auch sehr gut durch die erhöhte Rückstreuintensität der Ceilometer-Messung erkennbar ist. Eine weitere Aerosolschicht liegt in einer Höhe von etwa 3000 m ü.G. (dargestellt mit der schwarzen Linie). Die

abgehobene Temperaturinversion wirkt als „Deckel“ für die darunterliegende Luft, weshalb der Austausch mit der darüber liegenden Luftschicht unterbunden wird. Aufgrund des unterbundenen Austauschs sammeln sich Aerosole unterhalb der abgehobenen Inversion, weshalb die Rückstreuintensitäten im Laufe des 29. Februar höher werden (rote Bereiche). Die Aerosolschichthöhe liegt weiterhin bei etwa 500 m ü.G. Die Temperaturmessungen der Radiosonde zeigen am 29. Februar eine Änderung im Gradienten der Temperaturabnahme: Im Bodenniveau nimmt die Temperatur stärker mit der Höhe ab, ab einer Höhe von etwa 500 m ü.G. nimmt die Temperatur dann weniger stark ab. Diese Änderung im Gradienten der Temperaturabnahme reicht aus, um den vertikalen Austausch weitgehend zu verhindern.

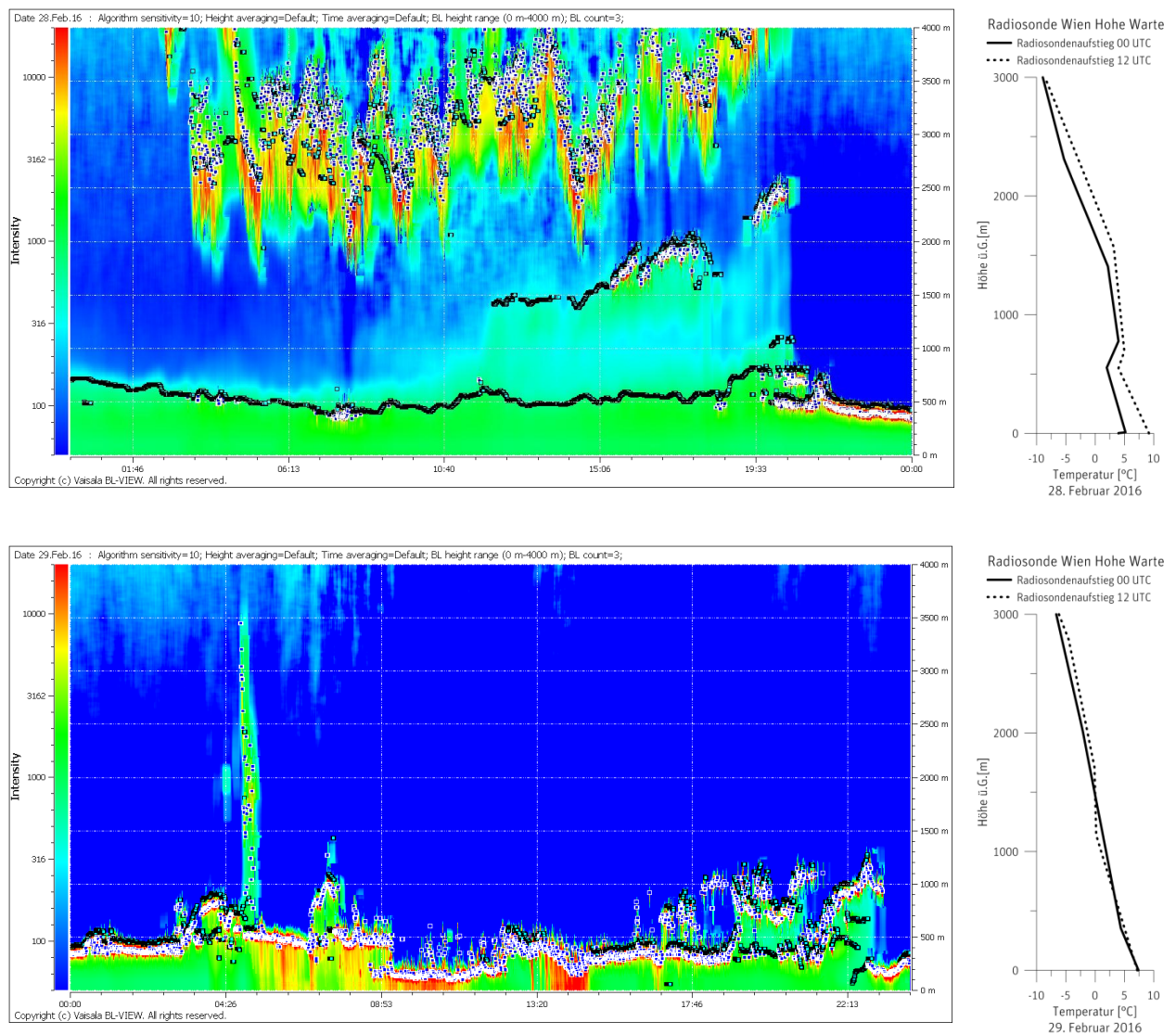


Abbildung 27 Rückstreuintensitäten des Ceilometers und Messung der vertikalen Temperaturprofile der Radiosonde in Wien Hohe Warte, 28. Februar (oben) und 29. Februar 2016 (unten).

3.2.3 Emissionsdaten

Für die Überprüfung der Emissionsdaten der Episode 2 (Montag, 29. Februar 2016) wurden die Emissionen des letzten Montags im Februar eines Standardjahres übernommen (Kapitel 2.5.1), das sind die fortlaufenden Stunden 1345 bis 1368, d.s. insgesamt 24 Stunden.

Die mittlere stündliche Emissionsstärke für diesen Tag beträgt für die gesamte Untersuchungsregion 64,2 g/(km²*h) und ist damit um etwa 17% höher als über das ganze Jahr gerechnet. Die Situation ist durchwegs vergleichbar mit derjenigen der ersten Episode. Die höchsten Beiträge stammen aus der Industrie, dabei tragen wiederum die Raffinerie in Schwechat und ein Zementwerk in der Nähe von Mannersdorf, welche etwa 45 km westlich bzw. südwestlich der Messstation liegen, den größten Anteil bei.

Tabelle 9 Mittlere SO₂-Emissionsstärken während der 2. Episode im gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich zum Gesamtjahr.

	Episode 2		Jahr	
	g/(km ² *h)	Anteil %	g/(km ² *h)	Anteil %
F Infrastruktur (Ver- und Entsorgung, öff. Verkehr)	2,59	4%	2,61	5%
G Gewerbe und öff. Gebäude	3,13	5%	2,23	4%
H Haushalte	9,38	14%	5,84	11%
I Industrie	48,44	73%	43,20	79%
N Natur & Landwirtschaft	0,10	0%	0,28	1%
V Verkehr auf Straßen	0,54	1%	0,54	1%
Summe aller Verursacher	64,16	100%	54,70	100%

Räumlich betrachtet zeigt sich, dass die Emissionsstärken generell niedrig sind (Abbildung 28). Etwa 86% aller Rasterzellen liegen unter dem (ohnedies geringen) Mittelwert von 64,1 g/(km²*h). Nur in 3 der insgesamt 10.181 Rasterzellen liegen die Emissionsstärken über einem Wert von 100.000 g/(km²*h), zwei davon in der Raffinerie, und eine weitere im Zementwerk in der Nähe von Mannersdorf. Eine weitere Rasterzelle im Zementwerk hat einen Wert von mehr als 5.000 g/(km²*h). Alle diese Rasterzellen sind etwa 45 km von der Messstation entfernt.

In nur 8 weiteren Rasterfeldern liegen die Emissionsstärken über einem Wert von 1.000 g/(km²*h), dazu gehören die Umgebung des Industriegebiets Schwechat, die Umgebung von Mannersdorf sowie die Gewerbegebiete Eisenstadt und Bruck an der Leitha. Die Werte in den anderen Rasterfeldern liegen weit darunter.

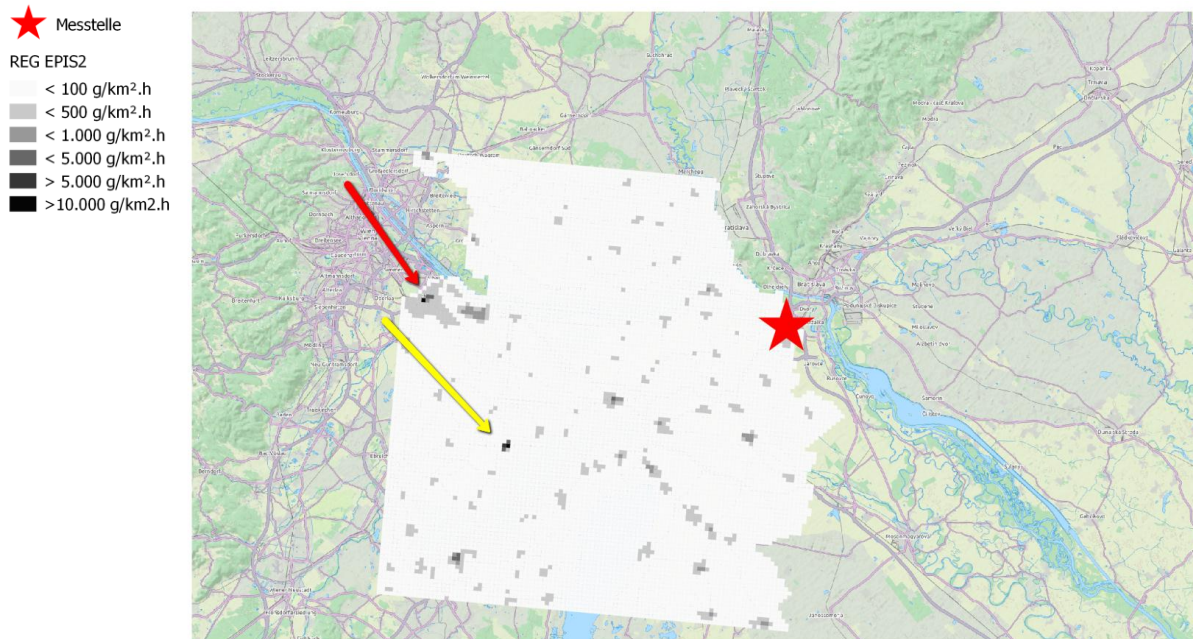


Abbildung 28 Verteilung der Emissionsstärken im gesamten Untersuchungsgebiet für die 2. Episode. Der rote Pfeil zeigt auf die beiden Rasterfelder mit einer Emissionsstärke von $> 100.000 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$. Der gelbe Pfeil zeigt auf die beiden Rasterfelder mit Emissionsstärken $> 5.000 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$.

In der näheren Umgebung der Messstation beträgt die mittlere stündliche Emissionsstärke über diesen einen Tag $15,4 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$, das ist um etwa 45% höher als über das ganze Jahr gerechnet (Tabelle 10).

Die Erhöhung gegenüber dem Jahresdurchschnitt ergibt sich aus den deutlich höheren Beiträgen der Haushalte durch die schwerpunktmäßige Raumheizung im Winter. Auch der Anteil des Gewerbes und der öffentlichen Gebäude ist im Winter deutlich höher als im Gesamtjahr. Bei den anderen Verursacherkategorien ist der saisonale Effekt weniger stark ausgeprägt.

Tabelle 10 Mittlere SO₂-Emissionsstärken während der 2. Episode in der unmittelbaren Umgebung der Messstation Kittsee im Vergleich zum Gesamtjahr.

	Episode 2		Jahr	
	$\text{g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$	Anteil %	$\text{g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$	Anteil %
F Infrastruktur (Ver- und Entsorgung, öff. Verkehr)	0,49	3%	0,49	5%
G Gewerbe und öff. Gebäude	3,61	22%	2,57	24%
H Haushalte	9,70	59%	6,04	56%
I Industrie	1,22	7%	1,09	10%
N Natur & Landwirtschaft	0,08	0%	0,22	2%
V Verkehr auf Straßen	0,30	2%	0,30	3%
Summe aller Verursacher	15,39	100%	10,70	100%

Räumlich betrachtet zeigt sich, dass die Emissionsstärken generell niedrig sind (Abbildung 29). Etwa 84% aller Rasterzellen liegen unter dem (ohnedies geringen) Mittelwert von $15,4 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$. Nur in einer Rasterzelle (Hainburg Ortszentrum) liegt die durchschnittliche Emissionsstärke über $500 \text{ g}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$. Die verursachenden Quellen sind etwa zu gleichen Anteilen der Kategorien Haushalte, Industrie und Gewerbe zuzuordnen, allerdings handelt es sich bei den letzteren nicht um Punktquellen, sondern um die Summe mehrerer Kleinbetriebe, die als „Summenquelle“ im Ortszentrum zusammengefasst wurden.

In weiteren 12 Rasterzellen liegen die Emissionsstärken über 200 g/(km²*h). Bei diesen tragen tendenziell die Haushalte am meisten zu den Emissionen bei. Diese Emissionsquellen finden sich in den Ortschaften Hainburg, Bad-Deutsch Altenburg, Hundsheim, Pama, Kittsee. Die verantwortlichen Emissionsquellen haben als Flächenquellen vermutlich niedrige Emissionshöhen.

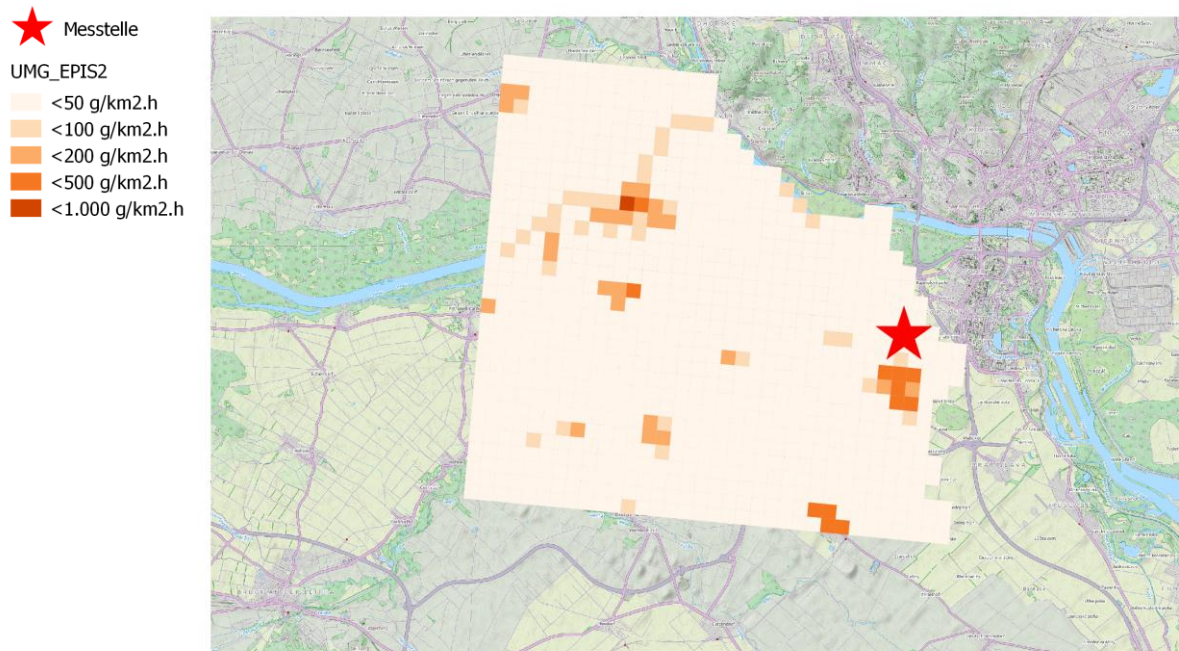


Abbildung 29 Verteilung der Emissionsstärken im der unmittelbaren Umgebung der Messstation Kittsee für die 1. Episode. In einer einzigen Rasterzelle (im Ortskern Hainburg) liegt der Wert über 500 g/(km²*h), sonst überall darunter.

3.2.4 Modellierung

Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART (Kapitel 2.7.1) wurde eine Rückwärtsrechnung durchgeführt, um das Herkunftsgebiet der gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung eingrenzen zu können. Die Ergebnisse der Rückwärtsrechnung sind in Abbildung 30 dargestellt. Die Berechnung wurde in 3-Stunden-Schritten durchgeführt. Die in den Abbildungen angegebene Uhrzeit gibt den Anfang des betrachteten Zeitfensters an, d.h. die Abbildung für den 28. Februar 6 UTC ist für den Zeitraum 28. Jänner 6 UTC bis 9 UTC repräsentativ. Als Startdatum für die Rückwärtsrechnung wurde der 29. Jänner 2016 um 15 UTC gewählt, da die SO₂-Überschreitungen in diesem 3-Stunden Fenster gemessen wurden. Je höher der Faktor [1/m³] in den dargestellten QRS-Feldern (Quell-Rezeptor-Sensitivität) ist, desto höher ist der Beitrag des Gebietes an der gemessenen SO₂-Konzentration, vorausgesetzt ein SO₂-Emittent ist in diesem Gebiet situiert. Die Abbildungen zeigen also die Gebiete, die die Luft in den 33 Stunden bevor sie nach Kittsee transportiert worden ist, überquert hat. Je weiter man in der Zeit zurückgeht, desto größer wird das Herkunftsgebiet. Am 28. Februar 2016 um 6 UTC lag die Luft in Rumänien. Von dort aus überquerte sie große Teile Ungarns und das nördliche Serbien sowie die südwestliche Slowakei, um schlussendlich in Kittsee anzukommen. Auf dem Weg nach Kittsee nimmt die Luft SO₂ von aktiven Emittenten auf, welche dann zur SO₂-Grenzwertüberschreitung in Kittsee führten. Die FLEXPART Rückwärtsrechnungen zeigen also, dass die Luft von Gebieten östlich bzw. südöstlich von Österreich nach Kittsee herantransportiert worden ist, was auch mit den Messungen der Immissionsmessstationen und Fernerkundungsmessinstrumenten, welche Winde aus östlichen Richtungen gemessen haben, konform geht.

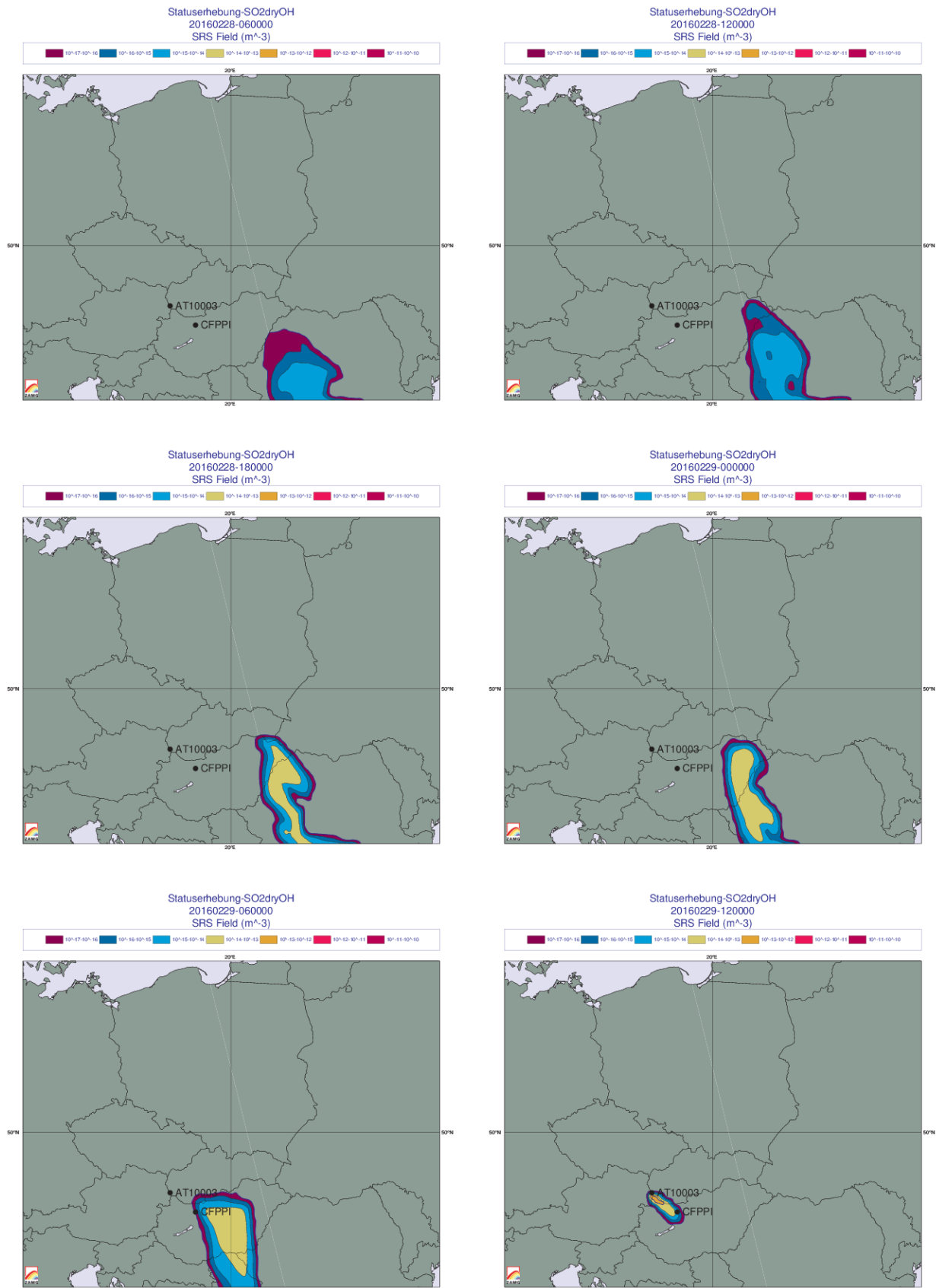


Abbildung 30 QRS-Felder (Quell-Rezeptor-Sensitivität) berechnet mit FLEXPART, Herkunftsgebiete der Luft von 28. Februar 6 UTC bis 29. Februar 2016 12 UTC, alle 6 Stunden. Startdatum der Rückwärtsrechnung: 29. Februar 2016 15 UTC. (AT10003 ... Immissionsmessstation Kittsee, CFPP1 ... potentielle SO₂-Quelle in Ungarn)

Die Vorwärtsrechnungen wurden mit dem chemischen Transportmodell WRF-Chem (Kapitel 2.7.2) durchgeführt. In Abbildung 31 sind die Ergebnisse für den Zeitraum 28. Februar 21 UTC bis 29. Februar 2016 12 UTC dargestellt. Die WRF-Chem Simulationen zeigen deutlich den Transport der SO₂-Konzentrationen aus den östlichen Nachbarländern in Richtung Ostösterreich. Die Berechnungen beruhen auf der Kombination diverser Emissionsdatensätze (Kapitel 2.7.2). Außerhalb Österreichs werden die Daten des TNO-Emissionskatasters verwendet, welcher in den östlichen Nachbarländern einige SO₂-Emittenten beinhaltet. Für die WRF-Chem Simulationen werden mittlere zeitliche Verläufe der Emissionsdaten verwendet, dennoch konnte die erhöhte SO₂-Immission im Osten Österreichs gut reproduziert werden. Die gemeinsame Betrachtung der WRF-Chem Modellierung mit den FLEXPART Berechnungen zeigt, dass die Herkunftsgebiete der gemessenen SO₂-Konzentrationen nicht in Österreich liegen, sondern von Ländern östlich bzw. südöstlich von Österreich.

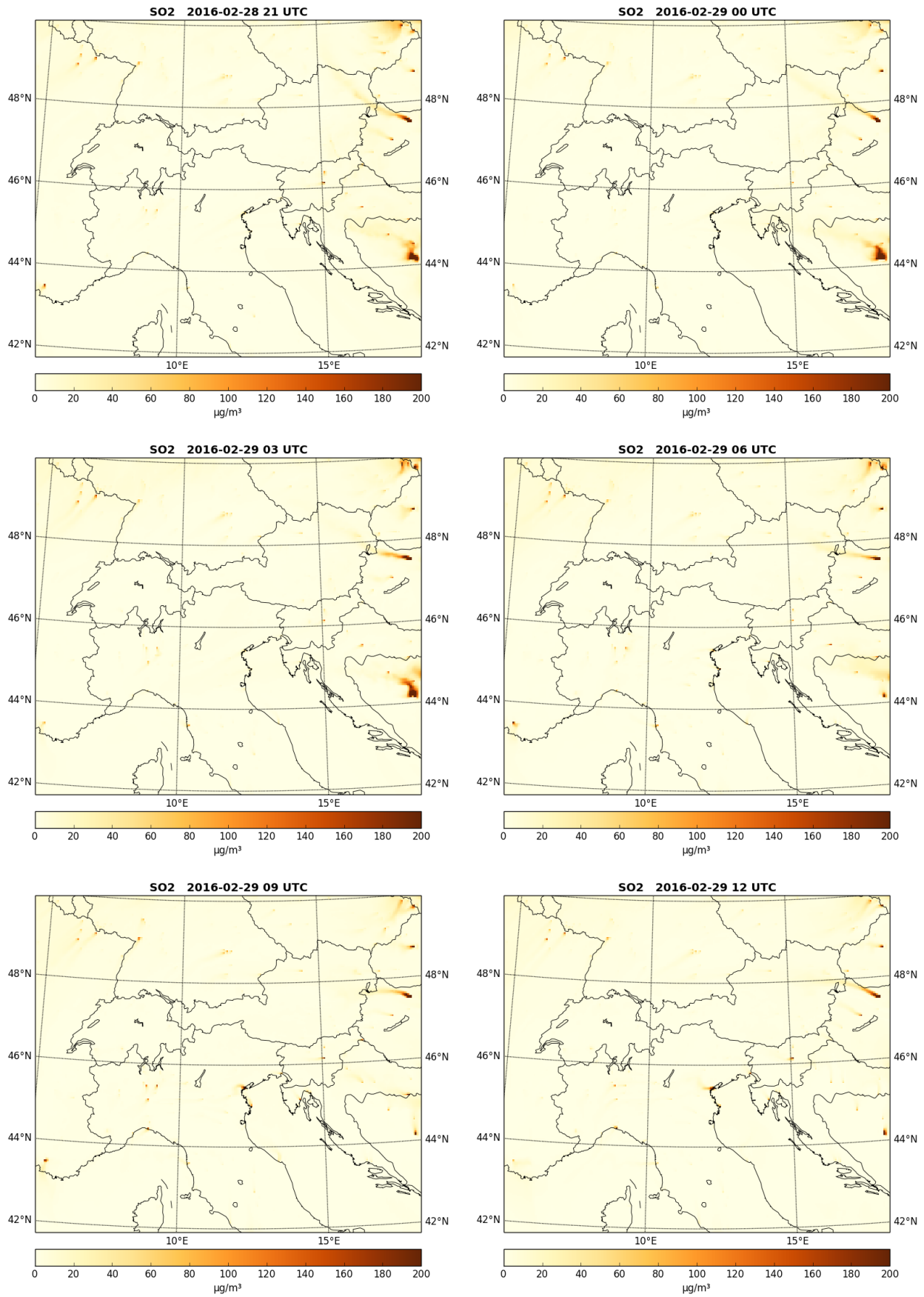


Abbildung 31 WRF-Chem Vorwärtsberechnungen der SO₂-Konzentrationen von 28. Februar 21 UTC bis 29. Februar 2016 12 UTC.

3.2.5 Zusammenfassende Analyse der SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 29. Februar 2016

Die Überlagerung der gemessenen Windrichtung und Windgeschwindigkeit mit den SO₂-Messungen der Station Kittsee im Zeitraum von 26. Februar bis 1. März 2016 ist in Abbildung 32 dargestellt. Einige Tage vor der gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung wurden Winde aus südöstlichen Richtungen gemessen, die dann bis zum 29. Februar auf Ost/Nordost gedreht haben. Auch die Windmessungen der restlichen burgenländischen und niederösterreichischen Immissionsmessstationen zeigen die gleichen Windrichtungen. Die Temperaturmessungen der Radiosonde in Budapest lassen darauf schließen, dass eine abgehobene Inversion vorherrschend war, die das für die Schadstoffverdünnung verfügbare Luftvolumen eingrenzte. Die Messungen der Radiosonde in Wien Hohe Warte zeigen nur eine leichte Temperaturzunahme mit der Höhe bzw. eine Änderung im Gradienten der Temperaturabnahme mit der Höhe, jedoch weisen die Ceilometer-Messungen darauf hin, dass diese zur Unterbindung des vertikalen Austauschs ausreichend war. Die Windmessungen der Radiosonde in Budapest und vom SODAR am Flughafen Wien-Schwechat zeigen ein ähnliches Bild: Winde aus östlichen bzw. südöstlichen Richtungen in der Grenzschicht. Die Kombination der gesamten meteorologischen Messungen lässt auf einen Transport von SO₂ von Emittenten aus den östlichen Nachbarländern schließen.

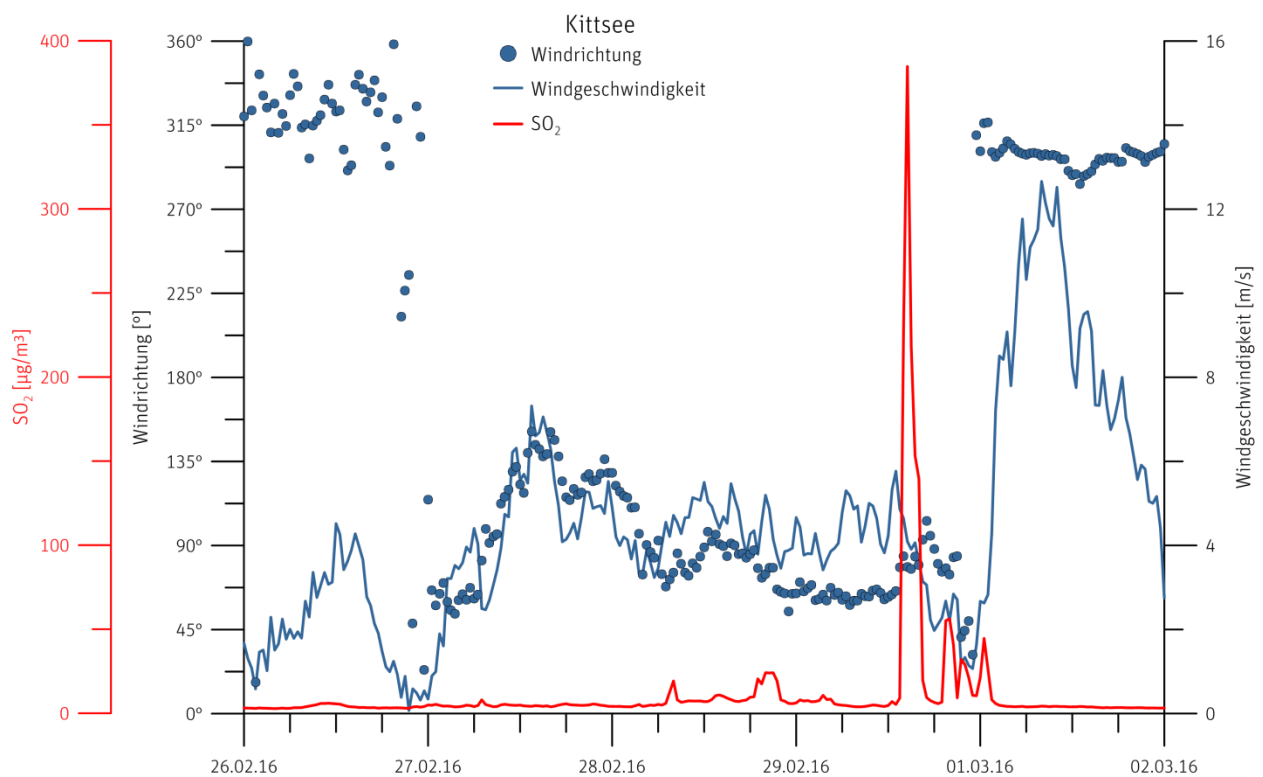


Abbildung 32 Windrichtung, Windgeschwindigkeit und SO₂-Konzentrationen gemessen an der Station Kittsee im Zeitraum 26. Februar bis 1. März 2016.

Wie in Kapitel 2.7.2 bereits erwähnt wurde, werden als Grundlage für die Simulationen mit dem chemischen Transportmodell mittlere Emissionswerte verwendet, die in außergewöhnlichen Emissionssituationen von den realen Emissionen abweichen können. Weiters beinhalten die Modellsimulationen zusätzliche Unsicherheiten (z.B. Meteorologie, Emissionshöhe,...) und stellen kein exaktes Abbild der Realität dar. Die Modelle liefern jedoch durch die Simulation komplexer Transportprozesse basierend auf Emissionsinventaren Indikatoren dafür, aus welchen Gebieten die potenziellen Verursacher kommen können und bestätigen in diesem Fall zusammen mit den Messdaten und der Analyse der Emissionsdaten aus dem österreichischen Emissionskataster und der LPC-Datenbank die folgenden Punkte:

- Vorherrschende Windrichtung aus Ost und somit Transporte von SO₂ aus östlichen Richtungen
- Es herrschen stabile Ausbreitungsbedingungen -> durch die vorherrschende großräumige abgehobene Temperaturinversion ist der vertikale Austausch in der Atmosphäre begrenzt, weshalb Schadstoffe unterhalb der Inversionsschicht gehalten werden und über weite Strecken transportiert werden können. Somit tragen entweder sehr nahe niedrige Quellen oder Quellen aus weiterer Entfernung zur gemessenen SO₂-Grenzwertüberschreitung bei.
- Die vom AIT durchgeführte Analyse der österreichischen Emissionsdaten ergibt, dass der überwiegende Anteil der SO₂-Emissionen aus dem Sektor Industrie stammt. In der größeren Umgebung von Kittsee befinden sich 2 SO₂-Emissionsquellen (Raffinerie Schwechat, Zementwerk Mannersdorf), welche etwa 45 km westlich bzw. südwestlich von der Messstation Kittsee liegen. Durch die schwerpunktmäßige Heizung im Winter trägt auch die Kategorie Haushalt zu den SO₂-Emissionen bei. Räumlich betrachtet sind die Emissionsstärken in der unmittelbaren Umgebung von Kittsee relativ niedrig. Die Datenbank der Large Combustion Sources (LPC-Datenbank) zeigt, dass mehrere große SO₂-Emittenten in Ungarn und der Slowakei zu finden sind: Auf slowakischer Seite zeigt das European Power Heizkraftwerk in Bratislava, welches nur 8 km Luftlinie entfernt von Kittsee liegt, ähnlich hohe SO₂-Emissionen (416 t/Jahr), wie alle 4 Anlagen der Raffinerie Schwechat gemeinsam, die jedoch deutlich weiter entfernt liegen. Auf ungarischer Seite zeigt das Kraftwerk Vértesi Oroszlányi, welches etwa 110 km südöstlich von Kittsee liegt, sehr hohe jährliche SO₂-Emissionen (2.685 t/Jahr).
- Herkunftsanalysen mit einem Partikelmodell im Rückwärtsmodus sowie Ausbreitungsrechnungen mit dem Chemischen Transportmodell WRF-Chem basierend auf Emissionsinventaren zeigen, dass die potentiellen Verursacher aus Industriegebieten in der Südwest-Slowakei und in Zentralungarn kommen. Die erhöhten Konzentrationen kommen insbesondere bei dieser Episode durch eine Überlappung dieser beiden Abgasfahnen zustande, wobei das Kraftwerk in Ungarn (KW

Oroszlányi), obwohl es deutlich weiter entfernt von Kittsee liegt, einen höheren Anteil an der gemessenen SO₂-Konzentration als das Heizkraftwerk in Bratislava (Slovnaft) liefert.

4 Zusammenfassung

An der Immissionsmessstation in Kittsee wurden am 5. Jänner und 6. Jänner 2016 sowie am 29. Februar 2016 Überschreitungen des SO₂-Halbstundenmittel-Grenzwertes (200 µg/m³, IG-L) gemessen.

Um die Quellregion dieser Überschreitungen zu eruieren, wurden die meteorologischen Messungen der Immissionsmessstationen des nördlichen Burgenlandes (Kittsee, Illmitz und Eisenstadt) und die Immissionsmessstationen im östlichen Niederösterreich (Hainburg, Schwechat, Stixneusiedl, Gänserndorf, Glinzendorf und Mistelbach) ausgewertet. Um Informationen über die vertikale Schichtung der Atmosphäre zu bekommen, wurden die Messungen der Radiosondenaufstiege in Wien und Budapest, die Ceilometer-Messungen in Wien Hohe Warte und die SODAR-Messungen am Flughafen Wien-Schwechat herangezogen. Mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell FLEXPART wurden Quellrezeptor-Sensitivitätsfelder (QRS-Felder) berechnet, um auf Grundlage der meteorologischen Bedingungen die potentiellen Quellregionen eingrenzen zu können. Mit dem chemischen Transportmodell WRF-Chem wurde auf Basis der Emissionskatasterdaten die Ausbreitung von SO₂ für die betreffenden Tage simuliert.

Vom AIT (Austrian Institute of Technology) wurden Analysen des Emissionskatasters der Bundesländer Niederösterreich und Burgenland sowie der LPC-Datenbank (Large Combustion Plant) durchgeführt. Die räumlich hochaufgelösten Emissionskataster der Bundesländer Niederösterreich und Burgenland weisen darauf hin, dass es im österreichischen Untersuchungsgebiet und in den beiden Untersuchungszeiträumen nur zwei nennenswerte Emissionsquellen für SO₂ gibt, nämlich zum einen die Betriebe am Gelände der Raffinerie Schwechat und zum anderen, mit einem etwas geringeren Anteil, die Betriebe am Gelände des Zementwerks in Mannersdorf. Beide Quellen liegen etwa 45 km westlich bzw. südwestlich der Messstation Kittsee. Im restlichen österreichischen Untersuchungsgebiet gibt es sonst nur kleinere Emissionsquellen, zumeist Gewerbebetriebe, die nur als Flächenquellen erfasst sind, und die ebenfalls nur wenig ergiebigen Emissionen aus Haushalten. Die Emissionen aus Infrastruktur, Landwirtschaft und Straßenverkehr sind im gesamten Untersuchungsgebiet weitgehend irrelevant.

Anders ist die Situation, wenn man auch die Emissionsdaten der ungarischen und slowakischen Anlagen aus der LCP-Datenbank analysiert. Hier fallen im Einzugsbereich möglicher Luftströmungen mehrere Anlagen mit sehr hohen SO₂-Emissionen auf, insbesondere das große Heizkraftwerk Bratislava, das nur 8 km Luftlinie von der Messstation entfernt liegt sowie Kraftwerke in Ungarn, welche etwa 65 bis 110 km entfernt liegen.

SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 5. und 6. Jänner 2016

Am 5. Jänner und 6. Jänner 2016 wurde der SO₂-Halbstundemittel-Grenzwert in Kittsee insgesamt 11-mal überschritten, dabei wurden SO₂-Konzentrationen von bis zu 658 µg/m³ gemessen. Die Analyse der

Windrichtung an den Immissionsmessstationen im nördlichen Burgenland und im östlichen Niederösterreich zeigt deutlich, dass ab dem 2. Jänner 2016 fast ausschließlich Windrichtungen aus Südost gemessen wurden. Am Standort der Messstation in Kittsee beeinflussen die Kleinen Karpaten die Strömung, weshalb Windrichtungen aus eher östlichen Richtungen gemessen wurden. Sowohl am Boden als auch in der Höhe war jedoch großflächig Südost-Strömung vorherrschend, was sowohl die Messungen der Radiosonde in Budapest als auch die Messungen des SODARs am Flughafen in Wien-Schwechat gezeigt haben. Die Messungen der vertikalen Temperaturschichtung der Radiosonde in Budapest zeigt eine ausgeprägte abgehobene Inversion, was auch mit den Messungen der Aerosolschichthöhen des Ceilometers und der Radiosonde in Wien Hohe Warte zusammenpasst. Die vorherrschende großräumige stabile Temperaturschichtung (Inversion) über Ostösterreich und östlich von Österreich (Slowakei und Ungarn) unterbindet den vertikalen Austausch der Luftschichten unterhalb und oberhalb der Inversion, wodurch auch hohe SO₂-Konzentrationen über weite Strecken transportiert werden können. Die berechneten QRS-Felder zeigen deutlich, dass die Quellgebiete in den östlichen Nachbarländern liegen. In den Ergebnissen der WRF-Chem Simulationen ist ebenfalls der Herantransport der SO₂-Konzentrationen aus den östlichen Nachbarländern in Richtung Ostösterreich ersichtlich. Die Analyse der meteorologischen Messungen gemeinsam mit den Modellergebnissen zeigen, dass über dem Osten Österreichs sowie den angrenzenden östlichen Nachbarländern eine ausgeprägte abgehobene Temperaturinversion lag, welche den vertikalen Austausch verhinderte und einen Schadstofftransport über weite Strecken ermöglichte. Die langanhaltende Südost-Strömung führte dazu, dass SO₂ von Emittenten aus den östlichen Nachbarländern bis nach Ostösterreich transportiert wurden und in Kittsee die gemessenen SO₂-Halbstundenmittel-Grenzwertüberschreitungen verursachte.

SO₂-Grenzwertüberschreitungen am 29. Februar 2016

Weitere Überschreitungen des SO₂-Halbstundenmittel-Grenzwertes wurden am 29. Februar 2016 in Kittsee gemessen. An 3 aufeinanderfolgenden Halbstundenmitteln wurden SO₂-Konzentrationen über dem Grenzwert gemessen. Die höchste SO₂-Messung wurde mit 385 µg/m³ um 14:30 Uhr detektiert. Die niederösterreichische Messstation Hainburg zeigte leicht erhöhte SO₂-Immissionswerte, jedoch lagen diese mit etwa 100 µg/m³ deutlich unterhalb des Grenzwertes. Ab dem 27. Februar wurden an den Immissionsmessstationen im nördlichen Burgenland und im östlichen Niederösterreich Winde aus südöstlichen Richtungen registriert. Ab dem 29. Februar drehte die Strömung auf eher östliche Richtungen. Auch in den höheren Schichten zeigten die Messungen des SODARs am Flughafen Wien-Schwechat deutlich die Drehung des Windes von Südost auf Ost. Die Radiosonden-Messungen in Budapest zeigen in Bodennähe eher östliche Windrichtungen, welche mit zunehmender Höhe zuerst auf Südost dann auf Süd drehen. Die Auswertungen der Temperaturmessungen der Radiosonde in Budapest zeigen am 28. Februar und 29. Februar 2016 eine abgehobene Inversion, welche auch durch die Ceilometer-

Messungen und die Radiosonde in Wien Hohe Warte bestätigt werden kann. Aufgrund der vorherrschenden stabilen Schichtungsverhältnisse in Ostösterreich und östlich von Österreich (Slowakei und Ungarn) ist ein Transport von SO₂ über weite Strecken möglich. Die berechneten QRS-Felder lassen darauf schließen, dass die Quellregion der SO₂-Konzentrationen in den östlichen bzw. südöstlichen Nachbarländern liegt. Auch die WRF-Chem Modellierung weist auf den Transport von SO₂ aus Quellen in Ungarn bzw. der Slowakei hin. Gemeinsam mit den meteorologischen Messungen zeigen die Modellergebnisse, dass durch die langanhaltende Südost- bzw. Ostströmung und die vorherrschende großräumige abgehobene Temperaturinversion ein Transport der SO₂-Konzentrationen von Emittenten aus den östlichen Nachbarländern für die gemessene SO₂-Überschreitung in Kittsee verantwortlich war.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die gemessenen SO₂-Überschreitungen am 5. Jänner und 6. Jänner 2016 sowie am 29. Februar 2016 aufgrund der meteorologischen Bedingungen nicht durch Quellen in Österreich verursacht werden konnten. Die meteorologischen Messungen, die Modellierungen und die Analyse der SO₂-Emittenten aus den Emissionsdaten lassen auf einen SO₂-Transport von Emittenten in den östlichen Nachbarländern schließen. Somit ist die Ausweisung eines Sanierungsgebietes gem. §8 Immissionsschutzgesetz (IG-L) in Österreich nicht notwendig.

Die Analyse der verfügbaren Daten der LCP-Datenbank des Jahres 2014 zeigt, dass die Kraftwerke in der Slowakei und Ungarn deutlich höhere SO₂-Emissionsintensitäten (SO₂ Emissionen relativ zur eingesetzten Energiemenge) haben als die österreichischen Anlagen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die hohen absoluten Emissionen in den beiden Nachbarländern in erster Linie auf fehlende oder nicht dem Stand der Technik entsprechende Abgasreinigungstechnologien zurückzuführen sind.

5 Literatur

- Amt der burgenländischen Landesregierung, 2016: Jahresbericht 2015 über die an den Luftgütemessstellen des Burgenländischen Luftgütemessnetzes gemessenen Immissionsdaten.
http://www.burgenland.at/fileadmin/user_upload/Downloads/Umwelt_und_Agrar/Umwelt/Luftgute/Berichte/Jahresberichte/Jahresbericht_2015_V1.pdf
- Chem Data GmbH und AIT GmbH, 2012: Burgenländischer Energie- und Emissionskataster. November 2012.
- ChemData GmbH, Forschungsgesellschaft Technische Chemie und Informationstechnik GmbH und AIT GmbH, 2014: Nemi Handbuch – Version 2014. Juni 2014.
- Geo Themenlexikon 2008: Wetter und Klima. Begriffe, Forschung, Prognosen. Band 31. GEO, Gruner+Jahr AG & Co KG, 2008, Bibliographisches Institut, Mannheim, 2008. ISBN Band 31: 978-3-7653-9461-4.
- Grell G. A., S. E. Peckham, R. Schmitz, S. A. McKeen, G. Frost, W. C. Skamarock, and B. Eder. Fully coupled 'online' chemistry in the WRF model. *Atmos. Environ.*, 39:6957-6976.
- Guenther, A., T. Karl, P. Harley, C. Wiedinmyer, P.I. Palmer, and C. Geron, 2006: Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 3181-3210.
- Flandorfer, C., M. Hirtl, 2015: Evaluierung der Ozonvorhersagen für den Sommer 2015. Berichte der ZAMG für das Amt der NÖ Landesregierung, die Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22, das Amt der Burgenländischen Landesregierung. Zahl ZAMG: 2015/UM/003125.
- Hirtl, M., S. Mantovani, B.C. Krüger, G. Triebnig, C. Flandorfer, M. Bottoni, M. Cavicchi, 2013: Improvement of fair quality forecasts with satellite and ground based particulate matter observations. *Atmos. Environ.*, 84: 20-27.
- Hirtl, M., C. Flandorfer, 2014: Evaluierung der Ozonvorhersagen für den Sommer 2014. Berichte der ZAMG für das Amt der NÖ Landesregierung, die Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22, das Amt der Burgenländischen Landesregierung. Zahl ZAMG: 2013/UM/003204.
- Kaiser, A., 2011: Endbericht über die meteorologischen Sondermessungen an der Immissionsmessstelle Kittsee der Burgenländischen Landesregierung. Im Auftrag des Umweltbundesamts Wien, der Ämter der Burgenländischen und der Niederösterreichischen Landesregierung. ZAMG, ZI: 4318/05-U.
- Kristiansen, N. I., Stohl, A., Prata, A. J., Bukowiecki, N., Dacre, H., Eckhardt, S., Henne, S., Hort, M. C., Johnson, B. T., Marengo, F., Neiningner, B., Reitebuch, O., Seibert, P., Thomson, D. J., Webster, H. N., Weinzierl, B., 2012. Performance assessment of a volcanic ash transport model mini-ensemble used for inverse modeling of the 2010 Eyjafjallajökull eruption. *Journal of Geophysical Research*, 117 (D00U11).
- Roedel, W., 2000: Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre. 3. Auflage: 396. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2000. ISBN 978-3-662-09325-2.
- Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G., 2005: Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART 6.2. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2461-2474.
- Stohl, A., 1999: FLEXTRA Trajectory Model Version 3.0 User Guide. https://www.researchgate.net/publication/2405235_The_FLEXTRA_Trajectory_Model_Version_30_User_Guide
- Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L, 2010): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für

Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden. BGBl. I Nr. 115/1997 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 77/2010.

Visschedijk, A.J.H., Zandveld, P.Y.J., Denier van der Gon, H.A.C., 2007. A High Resolution Gridded European Emission Database for the EU Integrate Project GEMS. TNO-report 2007-A-R0233/B.