

## Schlussbericht Immissionsmessungen Seetal

Luftschadstoffmessungen im Raum Seetal  
mit zusätzlichen Meteomessungen und einem Höhenprofil  
zur Bestimmung von Inversionswetterlagen.



*Blick auf Mels in das Rheintal.*



*Blick von Vermol entlang dem Weisstannental bis in das Rheintal.*

## **Herausgeber**

OSTLUFT

Schlussbericht, November 2011

Download: [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)

## **Projektleitung, Messung und Auswertung**

Amt für Umwelt und Energie des Kantons St.Gallen

Projektleitung Susanne Schlatter

Projektteam Aldo Dalle Case, Dominik Noger, Thomas Brunner, Hanspeter Löttscher

Praktikanten Dominik Hug (Auswertungen), Manuel Abegglen (Bericht)

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	4
2	Ausgangslage .....	4
2.1	Luftqualität im Seeztal.....	4
2.2	Winterliche Feinstaubbelastung .....	4
2.3	Modellierung von Belastungskarten .....	5
2.4	Inversionslagen im Ostluftraum.....	5
3	Ziele.....	6
3.1	Luftqualität im Seeztal.....	6
3.2	Validierung von modellierten Belastungskarten.....	6
3.3	Inversionslagen im Ostluftraum.....	6
4	Messanordnung .....	7
4.1	Lage und Standorttypus.....	7
4.2	Anordnung der Messgeräte.....	9
5	Resultate .....	10
5.1	Standort und Methodik.....	10
5.1.1	Standort der Messstation in Mels.....	10
5.1.2	Temperaturprofil .....	10
5.1.3	Meteostandorte.....	10
5.2	Luftqualität.....	14
5.2.1	Typische Tagesverläufe.....	14
5.2.2	Russ .....	16
5.3	Korrelationsberechnungen.....	17
5.4	Inversionsschichten .....	19
5.4.1	Inversionshäufigkeit im Winter in Mels .....	20
5.4.2	Ausblick Ebnat Kappel.....	24
6	Fazit.....	25
7	Anhang .....	26
7.1	Korrelation der Messstationen Chur (A13) und Mels.....	26



## 1 Zusammenfassung

In verschiedenen Projekten will Ostluft den Wissensstand hinsichtlich Charakteristik, Häufigkeit und Stärke von Inversionslagen im Ostlufttraum verbessern. Das Projekt „Immissionsmessungen Seeztal“ ist eines davon.

Das Seeztal verbindet das Rheintal mit dem Walensee und weist wegen seiner topografischen Lage eine spezielle Durchlüftung auf. Im Fokus der Untersuchung stand die winterliche Feinstaubbelastung sowie die Bildung und Auflösung von lokalen Inversionen. Des Weiteren soll die Grundlage verbessert werden, welche der zukünftigen Modellierung von Feinstaubkarten für das gesamte Ostluftgebiet dienen wird. Die Untersuchung von Luftqualität und Meteodaten in Mels erfolgte vom Herbst 2009 bis Frühling 2011.

Mels liegt am östlichen Ende des Seeztales südwestlich von Vaduz. Die Messstation befindet sich am Rande des Siedlungsgebietes und ist ohne direkten Einfluss einer Strasse. Die Aufmerksamkeit galt, abgesehen von den Meteodaten, insbesondere den Luftschadstoffen Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) und Russ. Die gemessenen Schadstoffverläufe repräsentieren den Standorttypus gut. Es wurde festgestellt, dass im Seeztal sehr ähnliche Verhältnisse herrschen wie in Vaduz und Chur, A13. Das heisst die Luftbelastung in Mels wird meistens durch die Situation im Rheintal beschrieben und die entsprechenden Messwerte korrelieren überraschend gut.

Zusätzlich wurde der Einfluss von Bodeninversionen auf die Schadstoffverläufe untersucht. Dazu wurden Temperatursensoren im Wald am naheliegenden Nordhang auf unterschiedlichen Höhen angebracht. Die so gewonnenen Daten lieferten plausible und aussagekräftige Resultate. In Mels wurden während des Winterhalbjahres am Morgen und am Abend häufig Inversionen in der untersten Luftschicht beobachtet. Über den Mittag haben sie sich jedoch meistens aufgelöst oder sind in die Höhe gestiegen. Somit sind wenig durchgehende Inversionen vorhanden, was konkrete Aussagen über den Zusammenhang mit Luftschadstoffverläufen erschwert.

## 2 Ausgangslage

Während des Zeitraumes vom September 2009 bis August 2011 wurden in Mels Luftschadstoffmessungen durchgeführt. Dabei wurde die Belastung der Luft durch Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) und Russ gemessen. Zusätzlich wurde die Temperatur kontinuierlich auf verschiedenen Höhen über der Messstation erfasst. Daraus lässt sich ermitteln, an welchen Tagen sich eine Inversion ausgebildet hatte. Dies erlaubt Aussagen über den Zusammenhang zwischen Inversionswetterlagen und den gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen.

### 2.1 Luftqualität im Seeztal

Da die Windrichtung in Bodennähe von der Lage des jeweiligen Tals stark beeinflusst wird, weist das Seeztal wegen seiner topografischen Lage eine spezielle Durchlüftung auf. Während das Rheintal von Norden nach Süden verläuft ist das Seeztal von Nordwesten (Walensee) nach Südosten (Rheintal) orientiert. Im Gegensatz zum Rheintal und der Linthebene fehlten für das Seeztal zwischen Sargans und Walensee Messungen und Untersuchungen zur Luftqualität. Im Fokus der Untersuchung stand die winterliche Feinstaubbelastung. Für die lufthygienische Beurteilung sind zusätzlich die Bildung und Auflösung von lokalen Inversionen von besonderem Interesse.

### 2.2 Winterliche Feinstaubbelastung

Im Winterhalbjahr kann die Feinstaubbelastung kritische Werte erreichen, wenn sich wegen der hohen Emissionsdichte Schadstoffemissionen aufgrund des schlechten Luftaustausches anreichern. Frühere Auswertungen von Feinstaubmessungen haben ergeben, dass im Winterhalbjahr zwischen einer Inversionslage und der Zunahme der Belastung durch  $\text{PM}_{10}$  ein Zusammenhang

besteht. Je stabiler die Inversion, desto höher wird die Feinstaubkonzentration. In den letzten Jahren wurden im Ostluftraum während derartiger Wetterlagen mehrmals Werte im Bereich von über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (doppelter Kurzzeit-Immissionsgrenzwert) gemessen. Einzig ein Wetterumschlag kann eine solche Situation durch Auswaschen oder Austauschen der Luftmassen entschärfen.

In den Monaten Januar und Februar 2006 hatte eine Periode mit ausserordentlich hohen Feinstaubwerten Behörden, Medien und Politik beschäftigt. Auf politischer Ebene entstanden so der Aktionsplan Feinstaub des UVEK und ein Interventionskonzept Feinstaub der BPUK. Letztere sieht bei anhaltender Überschreitung des Kurzzeitimmissionsgrenzwertes verschiedene Massnahmen vor. Dabei kommt den zuverlässigen Prognosen von Feinstaubbelastung und Inversionsstärke über einen Zeitraum von einigen Tagen eine zentrale Bedeutung zu.

### 2.3 Modellierung von Belastungskarten

Ostluft will die Luftschadstoffbelastung durch Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon modelliert darstellen können. Sie soll dabei über den gesamten Ostluftraum dargestellt werden können. Eine grosse Herausforderung bildet dabei die vielseitige und komplexe Topographie. Speziell anspruchsvoll sind dabei Regionen, bei denen sich die meteorologischen Verhältnisse räumlich und zeitlich schnell verändern können. Ein zukünftiges Prognosemodell muss bei der Entwicklung validiert werden. Ein Aspekt ist, dass die modellierten Daten (basierend auf Messwerten der Monitoringstandorte) durch unabhängige Messwerte, wie diejenigen von Mels überprüft werden können.

### 2.4 Inversionslagen im Ostluftraum

In den bisher durchgeführten Ostluftprojekten stand die Untersuchung von Bildung und Auflösung von Inversionen nicht im Zentrum der Arbeiten. Lediglich im Raum Zürich wurden Temperaturprofile erhoben (Wettswil und Stadt Zürich) und unter [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch) der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Diese „Mittelland-Temperaturprofile“ können für eine Beurteilung von alpinen Tälern in komplexer Topographie nicht oder nur begrenzt herangezogen werden. Ostluft hat sich unter anderem eine verstärkte Untersuchung der Zusammenhänge von meteorologischen Bedingungen und Schadstoffbelastungen zum Ziel gesetzt. Seit Sommer 2010 wird dazu neben Mels auch in Ebnat Kappel ein Höhenprofil der Temperatur gemessen. Um die Ergebnisse zu diskutieren, werden die beiden Standorte hier miteinander verglichen.

### 3 Ziele

Die primären Ziele waren eine Untersuchung der Luftqualität im Seeztal sowie deren Zusammenhänge mit Inversionslagen. Zudem sollen die gesammelten Daten als eine Grundlage für ein Prognosemodell des Ostluftraumes dienen.

#### 3.1 Luftqualität im Seeztal

Bei der Auswertung der Daten sind folgende Ziele definiert worden.

- Wie sind die typischen Verläufe von Schadstoffkonzentrationen und meteorologischen Bedingungen?
- Wie gut spiegelt sich Lage und Standorttyp der Messstation Mels in den Messdaten?
- Korrelieren die Messdaten von Schadstoffen und meteorologische Parameter im Seeztal mit denjenigen der Monitoringstandorte im Rheintal (Vaduz und Chur)?

#### 3.2 Validierung von modellierten Belastungskarten

Die in diesem Projekt ermittelten Messdaten wurden unter vergleichbaren Qualitätsstandards wie diejenigen der Monitoringstandorte erhoben. Somit lassen sich diese Messwerte mit denen in der Linthebene und im Rheintal vergleichen. Die Messdaten sollen schlussendlich als Grundlage für die Entwicklung und Validierung eines Prognosemodells dienen.

#### 3.3 Inversionslagen im Ostluftraum

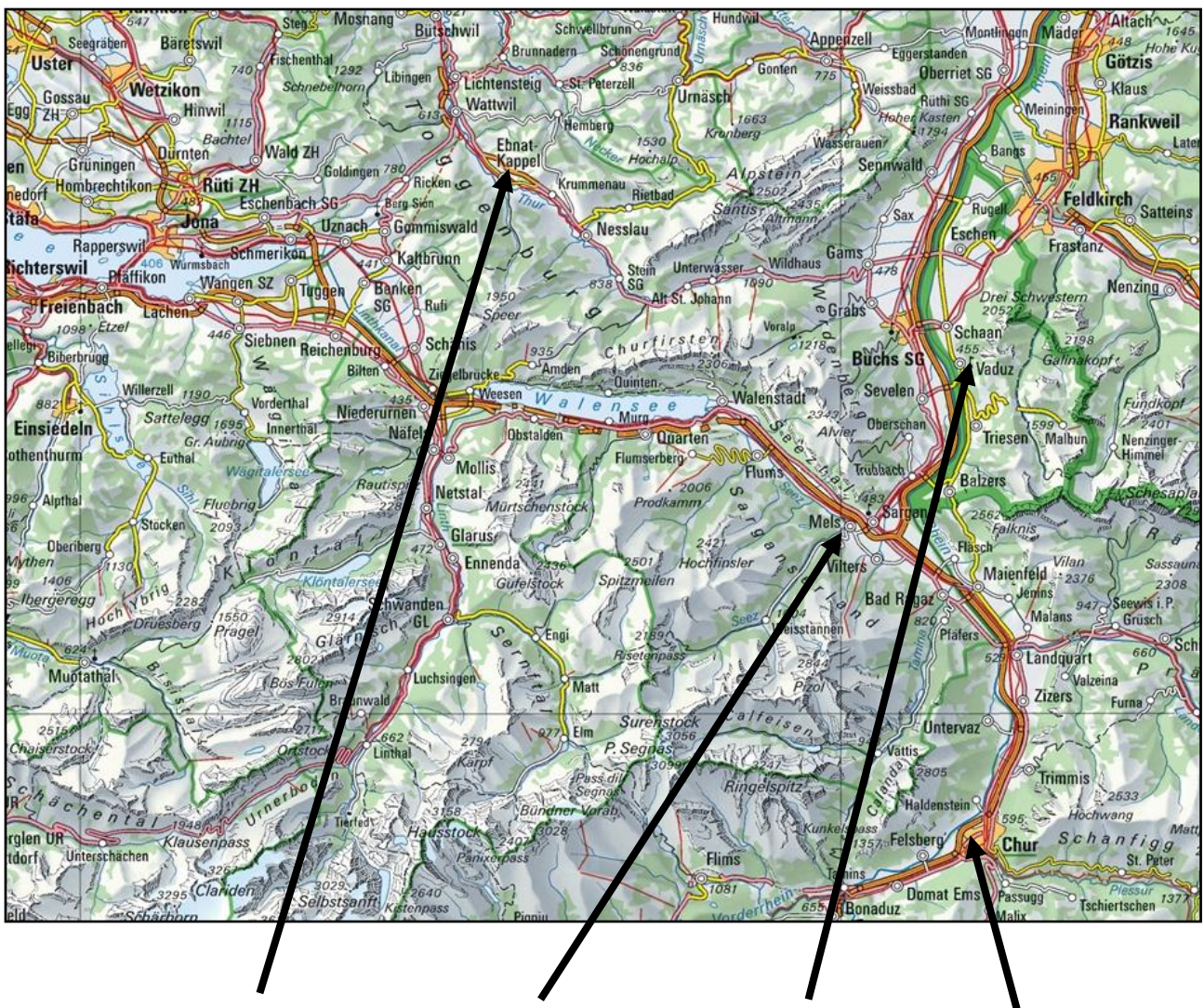
Darüber hinaus soll der Wissensstand zu folgenden Fragen verbessert werden.

- Wie verhält sich die Inversionshäufigkeit und –stärke in Abhängigkeit von der Schichthöhe an diesem Standort?
- Wie lassen sich durchgehende Inversionslagen im Seeztal charakterisieren?
- Welche Daten sind besonders hilfreich zum Verständnis der gemessenen Luftbelastungen und lassen sie sich für eine aussagekräftige Prognose verwenden?
- Wie weit kann eine Inversion mit einfachen und verhältnismässig kostengünstigen Meteoromessungen online charakterisiert werden?

## 4 Messanordnung

### 4.1 Lage und Standorttypus

Im Seeztal wurde der OSTLUFT-Messcontainer am südlichen Rande des Tales bei Mels betrieben. Es ist ein Quartierstandort ohne direkten Einfluss einer Strasse. Die Messstation befindet sich am Rande des Siedlungsgebietes von Mels beim Verwaltungsgebäude. Sie repräsentiert die Situation in den Aussenquartieren eines grösseren Dorfes in ausgeprägter Tallage. Die unten abgebildete Karte zeigt Lage und Standorttypus der erwähnten Messstationen.



	<u>Ebnat Kappel</u>	<u>Mels Wältigasse</u>	<u>Vaduz Austrasse</u>	<u>Chur, A13</u>
Standorttyp				
Koordinaten	727350 / 236350	750282 / 213040	758191 / 221295	757725 / 191375
Höhe ü.M.	630 m	490 m	459 m	565 m

Abbildung 1 Lage und Standorttypus der Messstationen, welche im Bericht miteinander verglichen werden.



Die Messstation in Ebnat Kappel befindet sich an der Gillstrasse, etwa 65 m entfernt von der Hauptstrasse. Die einseitig offene Lage in der Nähe eines Schulhauses angrenzend zum Sportplatz repräsentiert eine Belastung in einer ländlichen Ortschaft. Die Umfahrungsstrasse liegt am Südhang über der Ortschaft. Der Holzheizungsanteil ist mit sechs grossen Anlagen und über 1'300 kleinen Holzheizungen überdurchschnittlich hoch.

Die räumlichen Dimensionen der Stationen Mels und Ebnat Kappel sind in Abbildung 2 ersichtlich. Bei Mels ist die Ebene im Tal sehr viel grösser als in Ebnat Kappel. Damit scheint in Mels auch die Wahrscheinlichkeit kleiner zu sein, dass bei einer Inversionslage die Luftschadstoffkonzentrationen über die Grenzwerte steigen, da eine grössere Luftmasse zur Verfügung steht.

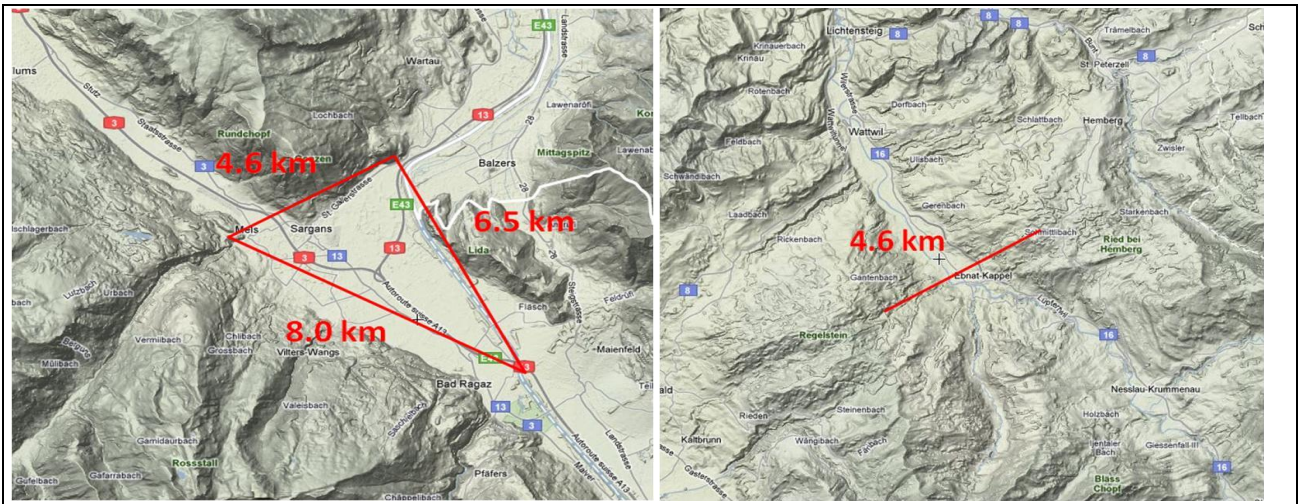


Abbildung 2 Räumliche Dimensionen der Täler an den Standorten Mels (links) und Ebnat Kappel (rechts). Die roten Geraden sollen die Grössenverhältnisse verdeutlichen und zeigen, wie grossräumig das Seeztal ist.



## 4.2 Anordnung der Messgeräte

In Mels wurde ein Höhenprofil mit Temperaturen erstellt, um Inversionen zu erfassen. Dazu sind neben der Luftmessstation in Mels am naheliegenden Nordhang im Wald Temperaturlogger bis zu einer Höhe von 150 m über der Messstation angebracht worden (Abbildung 3). Im ersten Messjahr 2009/10 haben zwei Meteostationen (Chestnenholz 720 m ü. M. und Vermol 1100 m ü. M.) ebenfalls die Temperatur und die Winde über dem Seeztal und dem senkrecht dazu verlaufenden Weisstannental gemessen. Mit diesen Daten sollten höher gelegene Inversionen sowie spezielle Windsituationen ermittelt werden.

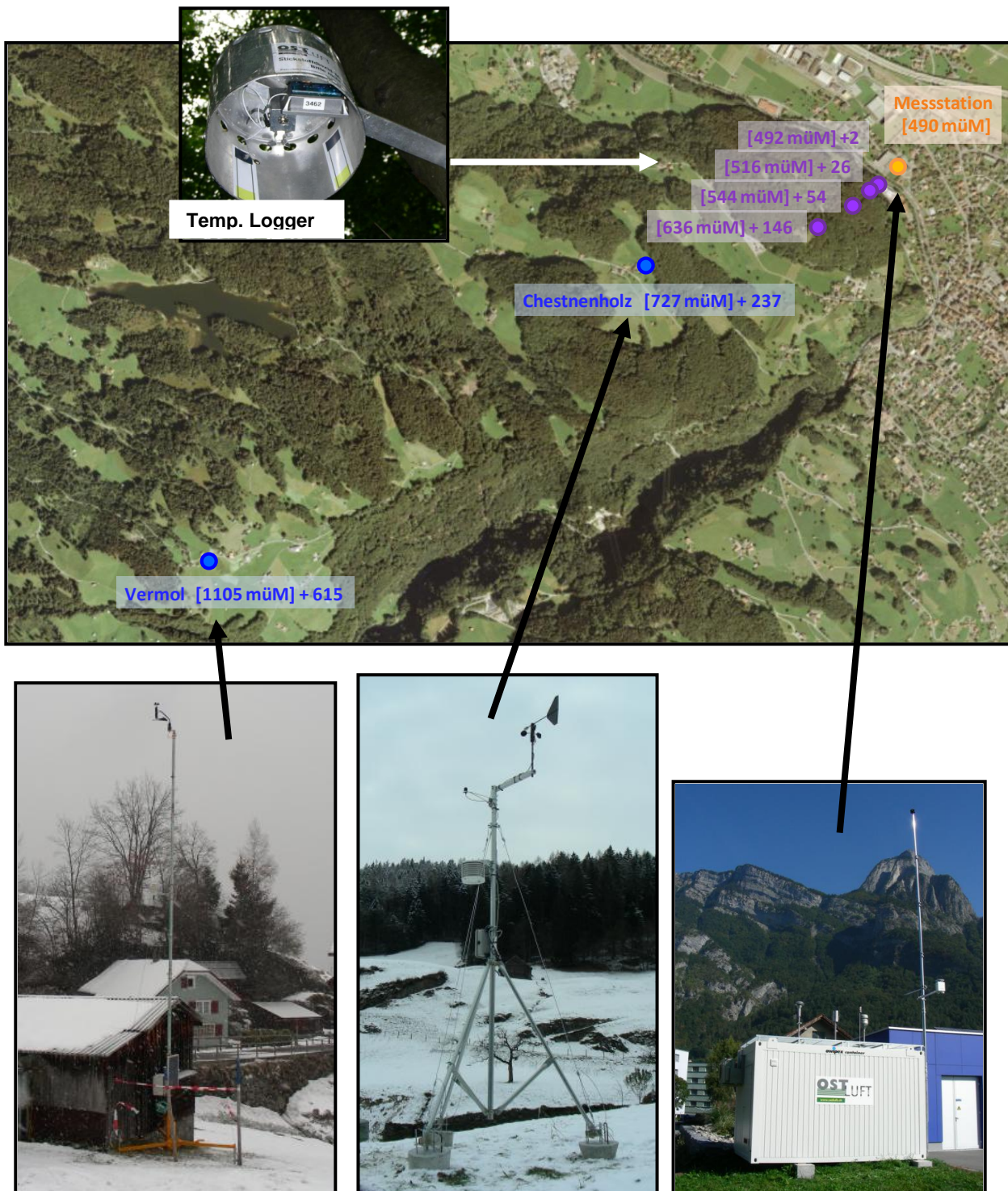


Abbildung 3 Messstation in Mels (orange), Temperaturlogger (lila) und Stationen Vermol und Chestnenholz (blau).

## 5 Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse von den Auswertungen der in Mels erhobenen Messdaten gezeigt und erläutert.

### 5.1 Standort und Methodik

#### 5.1.1 Standort der Messstation in Mels

Der Standort in Mels an der Wältigasse scheint gut gewählt. Es konnten keine störenden Einflüsse gefunden werden. Die Messdaten sind daher plausibel und aussagekräftig.

#### 5.1.2 Temperaturprofil

Die relativ kostengünstige Charakterisierung der Schichtungsstabilität mit Temperaturloggern im steilen, bewaldeten Nordhang hat gut funktioniert. Parallelmessungen haben gezeigt, dass nur mit kleinen Messunsicherheiten von etwa  $\pm 0.15 \text{ }^\circ\text{C}$  gerechnet werden muss. Die so erhobenen Temperaturdaten sind plausibel und aussagekräftig.

#### 5.1.3 Meteostandorte

An den Standorten Mels und Chestnenholz sind Nordwest- und Südostwind typisch. Die beiden Standorte geben bezüglich Temperatur und Wind aussagekräftige Daten. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten entsprechen in etwa den Messwerten in Mels (Abbildung 4). Die Daten können somit für die Beurteilung einer Inversionslage herangezogen werden. Beim obersten Höhenniveau in Vermol herrschen jedoch andere Verhältnisse. Hier werden in der Regel lediglich die thermischen Tal- und Bergwinde erfasst. Zudem ergeben die Messdaten von Vermol keinen Mehrwert im Bezug auf die Analyse von Inversionen, weil sie in dieser Höhe nur selten auftreten. Der Standort Vermol wurde deshalb nach dem Winter 2009/2010 aufgegeben.

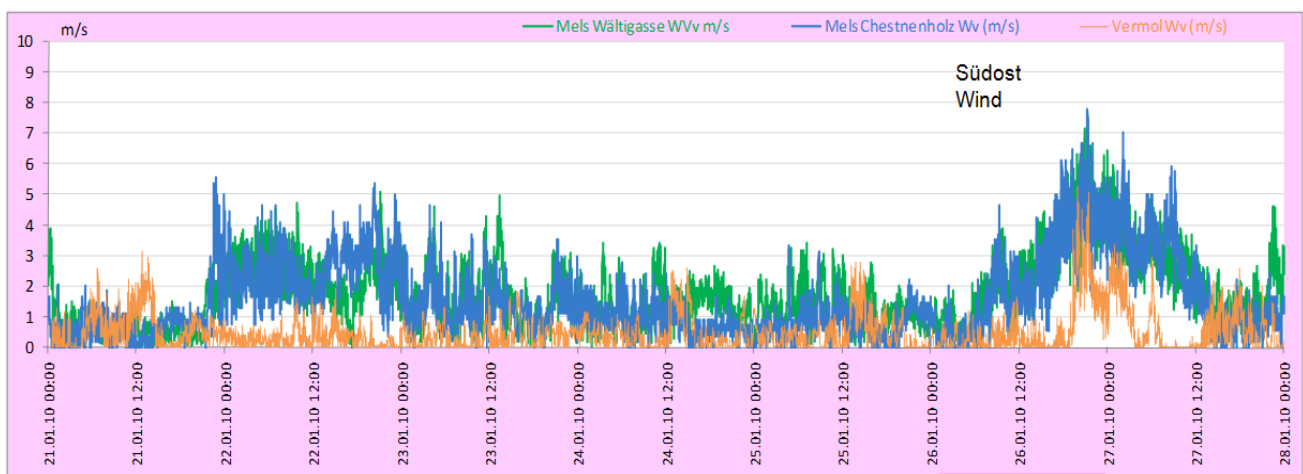
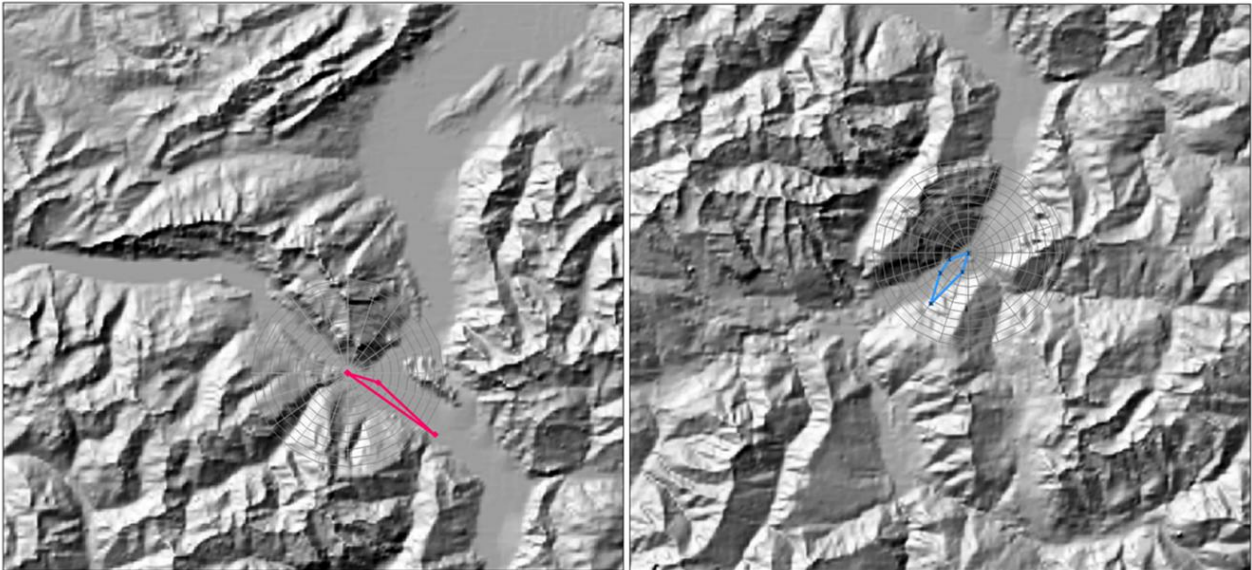


Abbildung 4 *Typisches Beispiel für die gemessenen Windgeschwindigkeiten (1 min-Mittel). Der Standort Vermol erfasst hauptsächlich Hangwinde.*



Die Standorte Mels Wältigasse (rot) und Chur, A13 (blau) in der nachstehenden Karte liegen in unterschiedlich ausgerichteten Abschnitten im Rheintal und die Vermutung lag nahe, dass unterschiedliche meteorologische Bedingungen herrschen. Ein Vergleich der gemittelten Windrosen (Abbildung 5) an den beiden Standorten zeigt aber eine sehr ähnliche Form und der Unterschied besteht lediglich in deren Ausrichtung. Das deutet darauf hin, dass dieselben Luftmassen gemessen werden. Es ist daher möglich, die meteorologischen Verhältnisse sowie Luftschadstoffkonzentrationen in Mels aus den Messdaten von Chur abzuleiten. Diese Aussage gilt nicht für Vaduz, weil dort der Föhnneinfluss weit weniger dominant ist.



Tagesmittelwert Windrichtung Mels Wältigasse und Chur A13 bei starkem Föhn (10.6.2010)

## Windrichtung / -geschwindigkeit im Tal

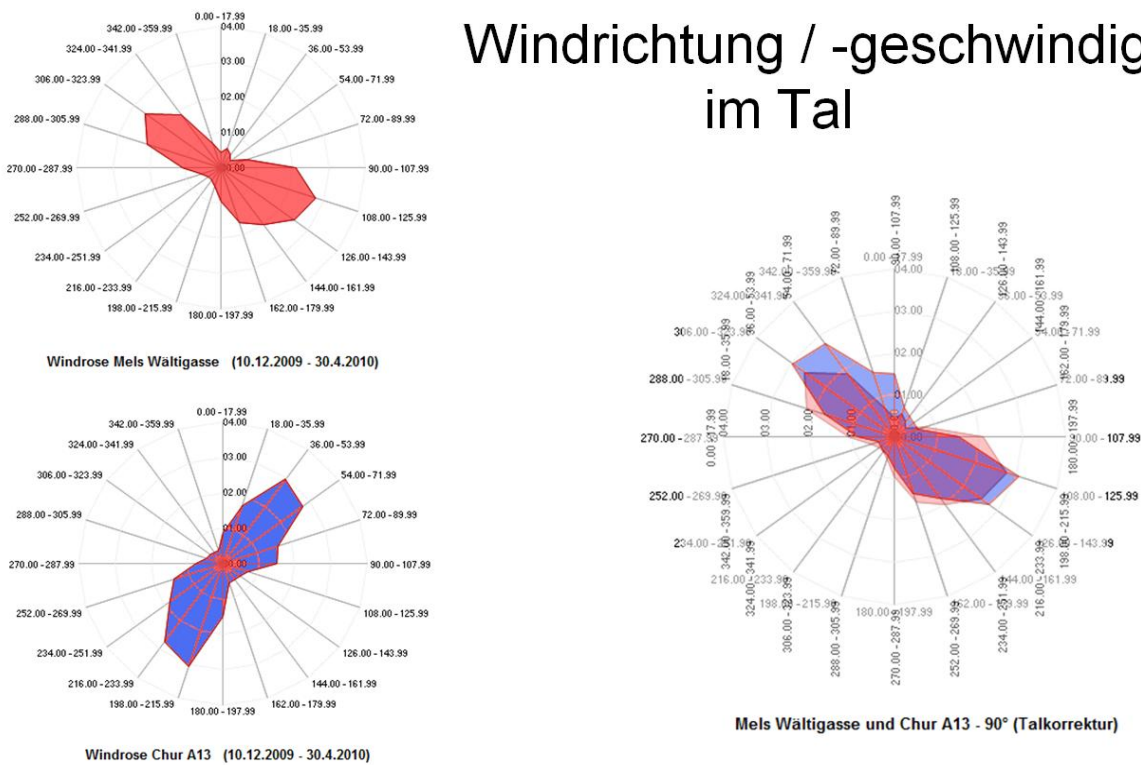


Abbildung 5 Windrosen für Mels und Chur, A13 gemittelt (links) über vier Monate und beide Windrosen übereinander (rechts), wobei diejenige von Chur um 90° gedreht wurde. Dabei wird ersichtlich, dass sehr oft dieselben Luftmassen erfasst worden sind.



Ein Vergleich der Windsituationen von Mels und Ebnat Kappel (Abbildung 6) zeigt, dass in beiden Fällen die Hauptwindrichtungen (Nordwest und Südost) von der Lage des Tals her rühren. Jedoch sind die mittleren Windgeschwindigkeiten in Mels bedeutend grösser als in Ebnat Kappel. Einerseits bleibt somit der Luftmasse bei Ebnat Kappel länger Zeit, um sich mit Luftschadstoffen anzureichern, andererseits kann auch eine Inversionslage weniger schnell aufgelöst werden. Zusätzlich wird die Luftmasse in sich weniger gut durchmischt und die Schadstoffe verdünnen sich schlecht, da allgemein weniger Turbulenz vorhanden ist.

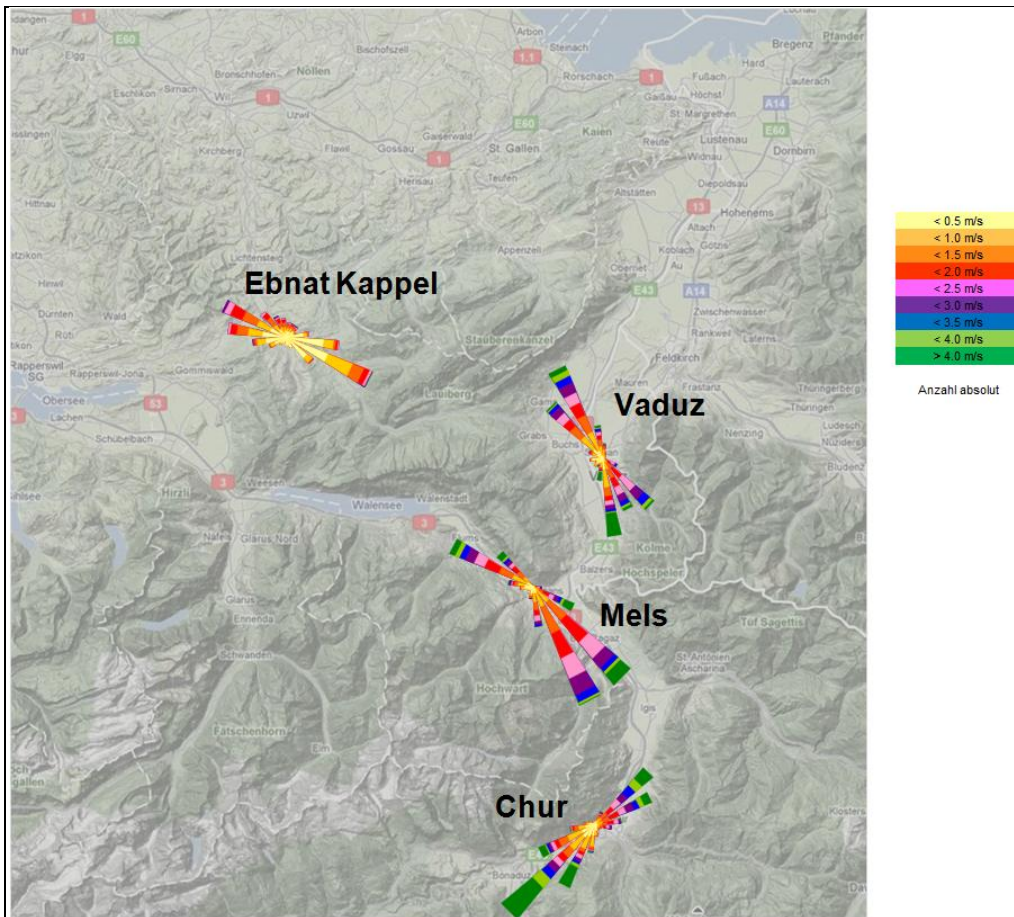
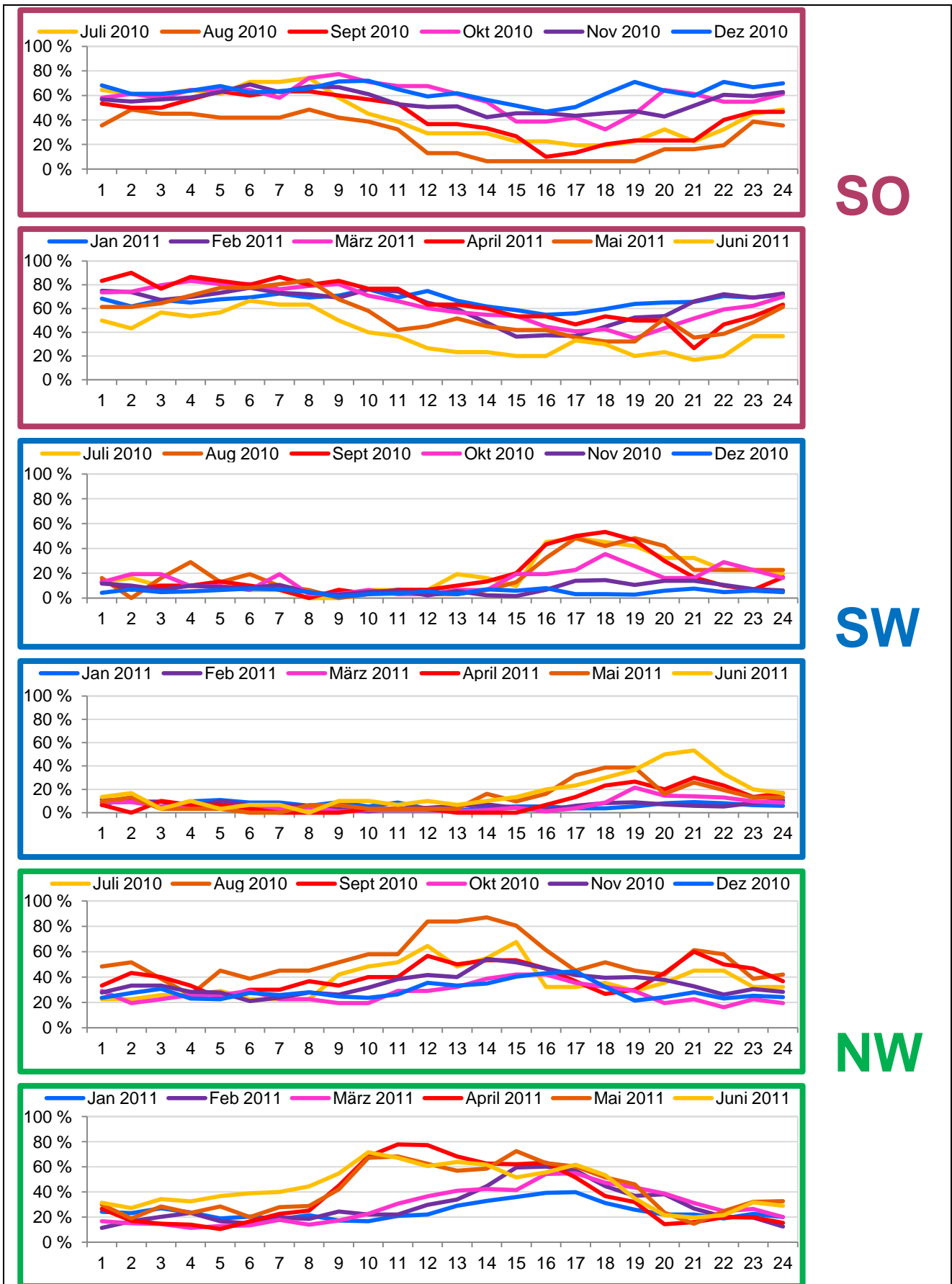


Abbildung 6 Windverhältnisse der Stationen Mels, Vaduz, Chur, A13 und Ebnat Kappel vom 1. Oktober 2010 bis 31. März 2011. Mels, Vaduz und Chur sind relativ ähnlich, während in Ebnat Kappel viel geringere Windgeschwindigkeiten üblich sind.

Werden die gemessenen Windrichtungen der Messstation in Mels für einzelne Monate dargestellt (Abbildung 7), so lassen sich klare Unterschiede feststellen. Die Windrichtung ist rechts von den Grafiken angegeben und gilt für je die zwei mit gleichfarbigen Rahmen. Jede Grafik zeigt sechs Monate, die durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet sind (siehe Legenden).

Die Hauptwindrichtung in Mels ist eindeutig Südosten. Dies zeigt sich am deutlichsten in der Nacht und während der Wintermonate. Ein Grund könnte die kalte Luft sein, welche durch Alpentäler abfließt. Aber auch im August, wenn er am wenigsten ausgeprägt ist, ist der Südostwind an mehr als der Hälfte vom Tag mit etwa 40% Wahrscheinlichkeit aufgetreten. Nach dem Mittag ist er dann weniger häufig und kehrt oft nach Nordwesten. Dies geschieht im Sommer häufiger als im Winter. Zudem wird im Sommer am Abend oft ein Wind von Südwesten gemessen, welcher sich hangabwärts bewegt. Dabei wird der Nordwestwind zwangsläufig weniger oft registriert. Da dieser im Winter nicht vorhanden ist, handelt es sich hierbei wahrscheinlich um ein typisches Berg- und Talwindssystem, welches durch die Strahlungsenergie angetrieben ist. Dieser Wind dauert meistens nur wenige Stunden und dreht danach wieder in Richtung Nordwesten.



SO

SW

NW

Abbildung 7 Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit der Windrichtung in Mels für alle Monate dargestellt. Die Windrichtung ist rechts davon angegeben. Winde aus Nordosten können vernachlässigt werden.

## 5.2 Luftqualität

Die Luftschadstoffbelastung durch Ozon, Stickstoffdioxid, Feinstaub und Russ am Standort Mels, Wältigasse im Jahr 2010 wird in diesem Abschnitt kurz zusammengefasst und mit den Messwerten in Chur, Vaduz und Ebnat Kappel verglichen. Die Schadstoffbelastungen in Mels entsprechen den Erwartungen des Standorttypus (Agglomerationsrand ohne direkten Verkehrseinfluss).

- $O_3$ : Der Stundenmittelgrenzwert ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde an 29 Tagen überschritten. Der maximale Stundenmittelwert liegt bei  $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- $NO_2$ : Der Jahresmittelgrenzwert ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und der Tagesmittelgrenzwert ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurden während des ganzen Jahres eingehalten.
- $PM_{10}$ : Der Tagesmittelgrenzwert ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde an neun Tagen in vier Monaten überschritten. Der maximale Tagesmittelwert liegt bei  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Grenzwert für das Jahresmittel ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) konnte eingehalten werden.

Abbildung 8 zeigt die mittlere Jahresbelastung von Ozon, Stickstoffdioxid und Feinstaub für Mels, Vaduz Chur und Ebnat Kappel. Ein Vergleich von Mels mit Chur, A13 und Vaduz zeigt, dass die mittlere Stickstoffkonzentration in Mels am geringsten und in Chur, A13 am grössten ist. Ein ähnliches Bild zeichnet sich für  $PM_{10}$  ab wobei die Unterschiede wesentlich kleiner sind. Der wahrscheinlichste Grund ist bei beiden Schadstoffen, dass Mels die kleinste Verkehrsbelastung hat. Ein Vergleich mit Ebnat Kappel zeigt, dass Ebnat Kappel eine leicht geringere Belastung mit Stickoxiden und Feinstaub aufweist als Mels.

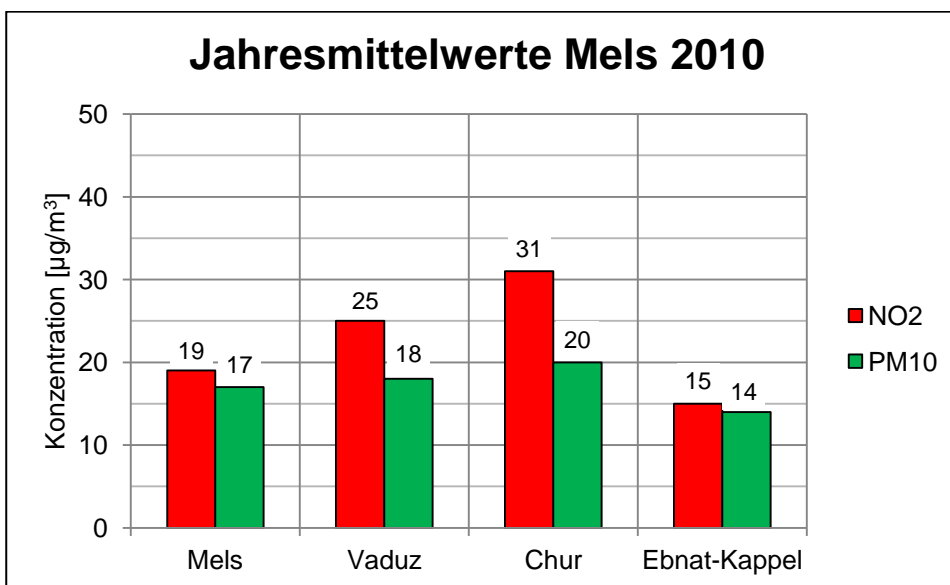


Abbildung 8 Luftschadstoffbelastung in Mels durch Stickstoffdioxid, und Feinstaub ( $PM_{10}$ ).

### 5.2.1 Typische Tagesverläufe

Die folgenden Graphiken in Abbildung 9 zeigen den gemittelten Tagesgang der gemessenen Schadstoffkonzentrationen in Mels. Dargestellt sind Ozon, Stickstoffdioxid und Feinstaub. Da sich die Tagesgänge je nach Jahreszeit stark unterscheiden, sind sie hier für jede Saison separat dargestellt. Um dem Tagesablauf der Menschen realitätsnah darzustellen, wurden die Werte, welche immer als Winterzeit aufgezeichnet wurden, auf Sommerzeit und Winterzeit geändert.



Die Tagesgänge von Ozon zeigen unabhängig von der Jahreszeit eine Belastungsspitze um 14.00 Uhr. Dieser Peak ist im Frühling und im Sommer mit bis zu über 90 µg/m<sup>3</sup> etwa doppelt so hoch als im Herbst und Winter. Die geringste Belastung wird jeweils am Morgen etwa um 8.00 Uhr registriert. Das ist nicht aussergewöhnlich, da die Ozonproduktion erst beginnt, wenn Sonnenlicht verfügbar ist. Der Abbau geschieht vor allem durch die Reaktion mit NO, welcher hauptsächlich vom Verkehr stammt. In den Wintermonaten werden die tiefsten Ozonkonzentrationen etwas nach 8.00 Uhr gemessen. Gründe für diese Verschiebung sind der spätere Sonnenaufgang (spätere O<sub>3</sub>-Produktion) und der Berufsverkehr (O<sub>3</sub>-Abbau), welcher im Winter eher später einsetzt. Ein Vergleich mit Chur, A13 und Vaduz (hier nicht dargestellt) zeigt, dass obige Aussagen für alle drei Stationen gelten und die generellen Verläufe gleich sind. Lediglich die Konzentrationen sind unterschiedlich, da die Verkehrsaufkommen sehr verschieden sind. So werden in Chur, A13 die höchsten Stickstoffdioxidkonzentrationen und die geringsten Ozonbelastungen gemessen während Mels die geringste Belastung an NO<sub>2</sub> und die höchste an O<sub>3</sub> aufweist.

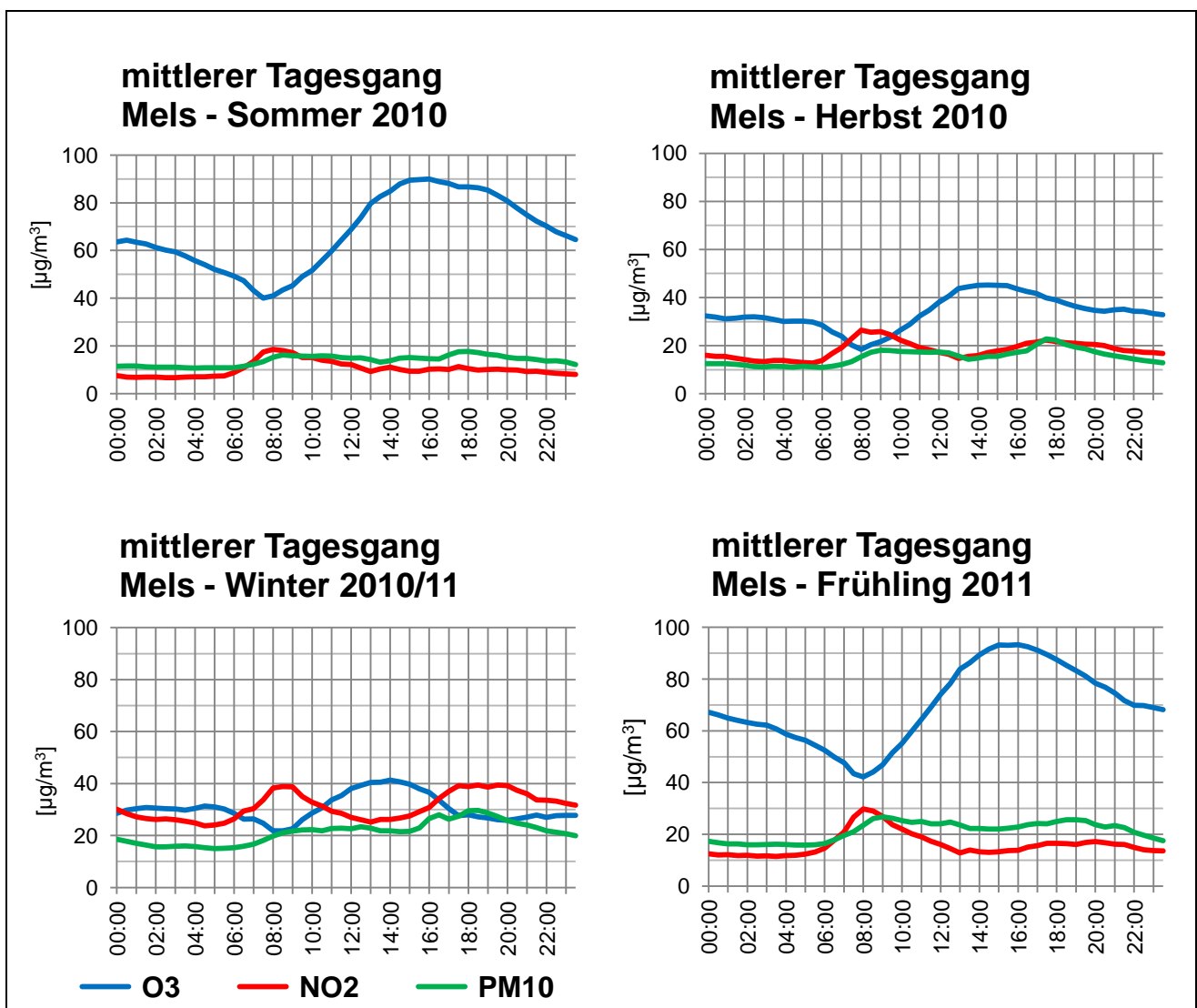


Abbildung 9 Die vier Graphiken zeigen den gemittelten Tagesgang in Mels für die vier Jahreszeiten (Sommer: Jun. - Aug.; Herbst: Sep. – Nov.; Winter: Dez. – Feb.; Frühling: März bis Mai) für O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>. Auffallend sind die hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen im Frühling und im Sommer und das abendliche NO<sub>2</sub>-Maximum, welches im Sommer entfällt.

Die Stickstoffdioxidkonzentration zeigt während eines Tages grundsätzlich zwei Belastungsspitzen, eine am Morgen und eine am Abend je zu den Zeiten mit dem meisten Verkehr. Es ist auffallend,

dass der abendliche NO<sub>2</sub>-Peak im Frühling und im Sommer entfällt. Der Hauptgrund dafür sind wahrscheinlich die im Sommer auftretenden thermischen Aufwinde. Diese können die Schadstoffe in die Höhe transportieren und tragen darüber hinaus noch zu einer stärkeren Durchmischung der Luftmasse im Tal bei.

Die Messwerte am Standort Mels korrelieren stark mit denjenigen der Stationen im Rheintal (Chur und Vaduz). Dies deutet wiederum auf ähnliche Luftmassen und ähnliche Ausbreitungsbedingungen hin. Es wurden Korrelationsberechnungen durchgeführt und versucht, die Werte für Mels aus denjenigen von Chur, A13 und Vaduz zu berechnen (s. 5.3 Korrelationsberechnungen). Das ist grundsätzlich möglich für Feinstaub, Ozon und Stickoxide, wobei sich die grössten Unsicherheiten bei der Berechnung der Stickoxidkonzentrationen ergeben. Dies liegt an der vergleichsweise geringen Hintergrundbelastung in Mels und dem entsprechend grösseren lokalen Einfluss auf die Stickstoffbelastung.

### 5.2.2 Russ

Die Russkonzentrationen und der entsprechende Anteil des Russes am gesamten PM<sub>10</sub> der Messstationen Mels, Vaduz und Zürich (Stampfenbachstr.) sind in Abbildung 10 dargestellt. Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen sowie der Anteil am PM<sub>10</sub> sind an allen Standorten sehr ähnlich.

Zürich weist die höchste Russbelastung auf und Mels die kleinste, die Unterschiede sind jedoch sehr gering. Diese lassen sich auf den Standorttypus zurückführen. Die Messstation in Zürich zeigt den Einfluss einer Stadt mit viel Verkehr, Vaduz liegt nahe an einer stark befahrenen Strasse (jedoch mit ländlichem Hintergrund) und Mels liegt am Dorfrand ohne grossen Verkehrseinfluss.

Der Anteil an Russ am gesamten Feinstaub macht für alle drei Standorte zwischen 3% (im Sommer) und 10% (im Winter) aus, wobei in Vaduz die höchsten Russanteile gemessen wurden. Die Unterschiede sind auch hier sehr gering. Im Winter ist die Russkonzentration deutlich höher als im Sommer und erreicht Werte, die etwa doppelt so gross sind. Dieser Jahresgang wird wahrscheinlich durch das vermehrte Heizen und die anderen Ausbreitungsbedingungen verursacht. Darüber hinaus zeigen alle drei Stationen unregelmässige Belastungsspitzen, welche keinem eindeutigen Muster folgen. Weitere Untersuchungen bezüglich der starken Schwankungen der Anteile an Russ im PM<sub>10</sub> werden gemacht und im Zwischenbericht Ebnet Kappel gezeigt.

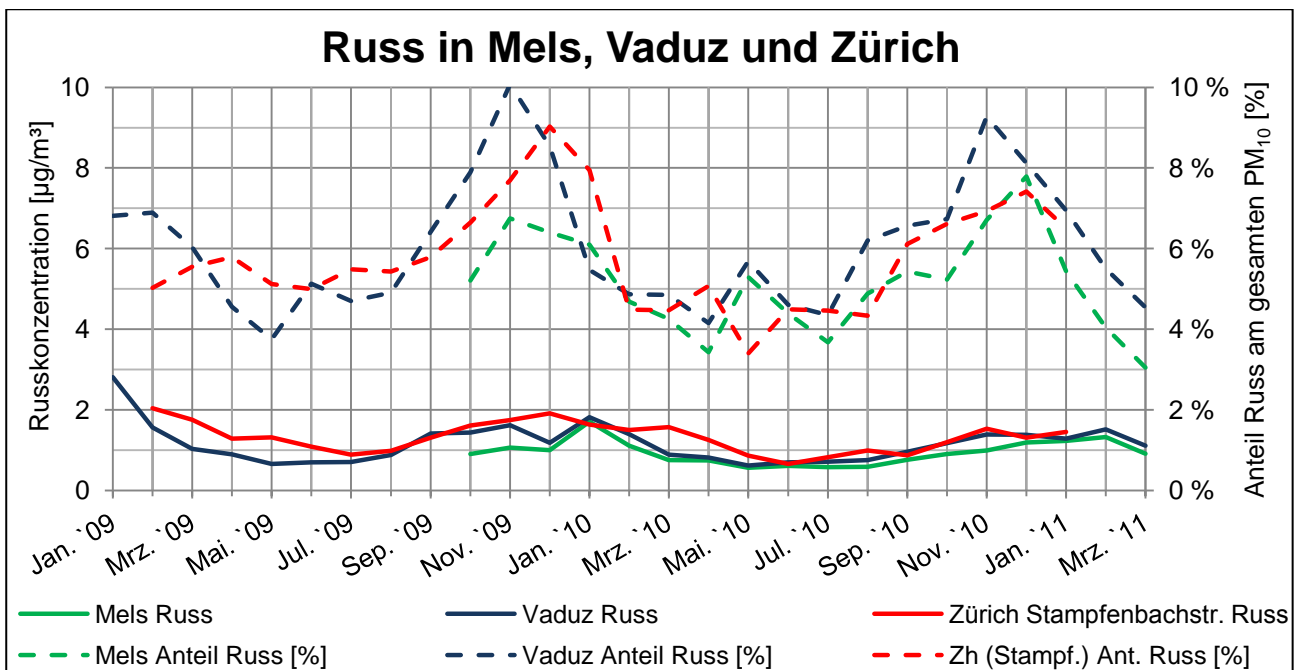


Abbildung 10 Russbelastungen und entsprechende Anteile (Sekundärachse) am gesamten gemessenen PM<sub>10</sub> der Messstationen Mels, Vaduz und Zürich (Stampfenbachstr.).

### 5.3 Korrelationsberechnungen

Um die Ähnlichkeit der Messstationen zu bestimmen wurden Korrelationen der Stationen für verschiedene Tagesmittel von Schadstoffen ausgerechnet. Korrelationen mit Stundenmitteln waren nicht möglich, da die Variabilität der Messgrössen zu gross ist. Dabei zeigte sich, dass die Stationen Mels, Tuggen und Vaduz die anderen Stationen am besten repräsentieren. Da die Messstation, welche in Tuggen zum Einsatz kommt, nur jedes zweite Jahr dort misst, ist dieser Standort keine ideale Wahl, um repräsentative Vergleiche zu machen. Zudem bestätigt diese Analyse, dass die Standorte Mels, Chur (A13) und Vaduz überraschend gut miteinander korrelieren.

Die Korrelationen variieren von Jahr zu Jahr. So weist der Winter 2009/10 generell eine höhere Korrelation zwischen den einzelnen Messstandorten auf, als der Folgewinter 2010/11. Zudem zeigte sich, dass eine Aufteilung der Daten in die einzelnen Monate keine höhere Korrelation zur Folge hat, als eine direkte Berechnung über den ganzen Winter.

Um zu zeigen, wie gut andere Stationen die Schadstoffverläufe von Mels wiedergeben, wurden die Messwerte der anderen Stationen auf das Niveau von Mels modelliert. Eine solche Korrelationsberechnung ist in Abbildung 11 dargestellt. Dafür wurde mit einem Korrekturfaktor gearbeitet, der so gewählt wurde, dass die Verläufe bestmöglich aufeinander passen. Es ist zu erkennen, dass die Tagesmittel erstaunlich gut miteinander korrelieren. Typische Korrekturwerte für hintergrundbetonte Schadstoffe liegen bei 1.2 für Ozon und 1.0 für Feinstaub. Dies bedeutet, dass Mels im Vergleich zu Chur (A13) und Vaduz eine gering höhere Ozonbelastung aufweist, jedoch in etwa dieselbe Feinstaubbelastung. Diese zwei Schadstoffe weisen ein hohes  $R^2$  um 0.75 auf, d. h. die Messstationen sind bezüglich dieser Schadstoffverläufe sehr ähnlich. Bei den Stickoxiden und dem Kohlenstoffmonoxid liegen die Korrekturwerte im Mittel je nach Jahr zwischen 0.45 und 0.85. Diese Daten schwanken viel mehr und weisen oft nur ein kleines  $R^2$  um 0.45 auf. Im Anhang (Seite 26) finden sich die Abbildungen, welche die Messwerte von Mels und Chur, A13 unter Angabe von  $R^2$  und Steigung der linearen Regressionsgerade direkt miteinander vergleichen.

Insgesamt zeigen die drei Messstationen Mels, Chur (A13) und Vaduz ähnliche Verläufe über den gesamten Zeitraum der Messungen, vor allem für Ozon und Feinstaub. Dies liegt daran, dass die drei Standorte in der gleichen Region stehen und somit der auch gleichen Wettersituation unterliegen. Es scheint, dass die meteorologischen Rahmenbedingungen im oberen Rheintal und im Seeztal weitgehende Ähnlichkeiten aufweisen.

Die Verläufe von Stickoxidkonzentrationen hingegen sind viel variabler. So können sie zeitweise genauso gut korrelieren wie Ozon und Feinstaub, oder sich aber komplett unterschiedlich verhalten. Generell lässt sich also sagen, dass mit einer einfachen Korrelation passende Verläufe generiert werden können.

Bereits diese einfache Art der Korrelationsmodellierung eröffnet die Möglichkeit, Werte für Mels durch Korrelationsberechnungen mit Daten der umliegenden Stationen zu berechnen. Auch ist eine Kontrolle von laufenden Messungen möglich, um defekte oder falsch eingestellte Messgeräte festzustellen. Dafür müssen die typischen Korrekturwerte bekannt sein. Eine Übersicht dieser Korrekturwerte für die Winter 2009/10 und 2010/11 ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1 *Korrelationsfaktoren, um Tagesmittelwerte für Mels aus den benachbarten Stationen zu berechnen.*

2009/10	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	PM10
2010/11						
Chur, A13	0.44	0.27	0.71	1.26	-	0.89
	0.45	0.28	0.72	1.17	-	1.00
Vaduz	0.67	0.47	0.87	1.06	-	0.87
	0.70	0.48	0.90	1.05	-	1.13
Ebnat-Kappel	-	-	-	-	-	-
	1.20	1.30	1.20	1.20	0.56	1.19



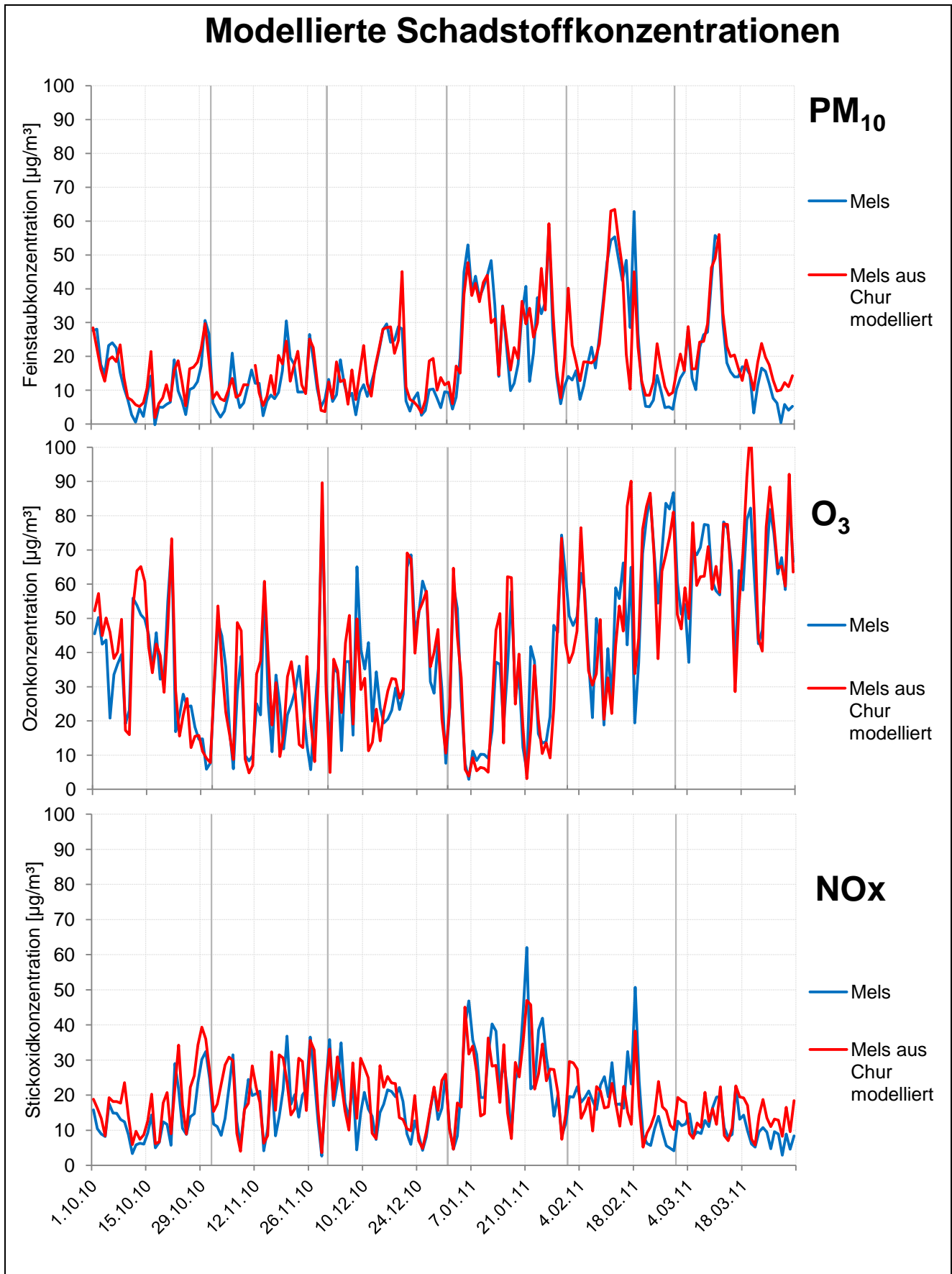


Abbildung 11 Gemessene (blau) und aus den Daten von Chur (A13) berechnete (rot) Tagesmittelwerte von Feinstaub, Ozon und Stickoxide für Mels. Die Werte von Mels korrelieren erstaunlich gut mit den Nachbarstationen Chur und Vaduz (nicht dargestellt).

### 5.4 Inversionsschichten

Wie bereits erwähnt können Inversionslagen die Schadstoffbelastung an einem bestimmten Standort stark beeinflussen, da der Verdünnungseffekt durch Aufwinde und nachkommende Frischluft ausbleibt, während die Emissionen durch Verkehr, Haushalte und Industrie weiterhin stattfinden. Im Folgenden soll daher die Inversionssituation für Mels und Ebnat Kappel aufgezeigt werden. Anschliessend werden die Schadstoffbelastungen mit und ohne Inversionen miteinander verglichen, um Unterschiede festzustellen.

Die Inversionsberechnungen basieren auf Messungen von Temperaturloggern (msr) und den Temperaturdaten der Meteostationen. Die Temperaturlogger wurden auf verschiedenen Höhen installiert. In Mels stehen vier dieser Logger und zwei Meteostationen (Chestnenholz und Vermol) am Nordhang. Die schematische Anordnung der Temperaturmessungen in Mels mit Angaben der Schichthöhen ist in Abbildung 12 dargestellt. Da der Standort Vermol keine nützlichen Daten im Bezug auf Inversionen liefern konnte, wird die fünfte Schicht nicht weiter betrachtet. In Ebnat Kappel ist der Aufbau der Messung im Prinzip gleich. Die Inversionen wurden, analog zur Firma Meteotest, aus den Temperaturdifferenzen pro 100 Höhenmeter bestimmt. Eine Temperaturdifferenz zwischen  $-0.5\text{ °C}$  und  $1.5\text{ °C}$  wird als eine schwache Inversion definiert. Ist die Differenz grösser als  $4\text{ °C}/100\text{ m}$ , ist es eine starke Inversion; und ist die Differenz kleiner als  $-0.5\text{ °C}$ , ist keine Inversion vorhanden. Zwischen  $1.5\text{ °C}$  und  $4\text{ °C}$  wird eine mittlere Inversion definiert. Mit diesem Aufbau und dieser Methode ist gewährleistet, dass jede so erfasste Inversion auch mit Sicherheit eine Inversion ist. Dafür ist es möglich, dass einige Inversionen nicht registriert werden. Denn einerseits kann sich eine Inversion zwischen zwei Temperaturloggern befinden die weniger hoch ist als die Höhendifferenz der Temperaturmessungen. Wenn nun gleichzeitig die entsprechende Temperaturdifferenz negativ ist, bleibt die Inversion verborgen. Andererseits ist das Kriterium, das angewendet wird um eine Inversion zu erfassen, so angesetzt, dass keine „falschen“ Inversionen gefunden werden.

Es gibt Hinweise darauf, dass es wahrscheinlich möglich ist, Inversionen online mittels Webcams zu erfassen. Aber es ist noch keine Methode dazu entwickelt worden. Dazu müssten in einer ersten Phase in verschiedenen Höhen noch Temperaturmessgeräte angebracht sein, wie es in Mels schon gemacht wurde. Der Aufwand bis es möglich ist, Inversionen nur mit Webcams zu erfassen, ist wahrscheinlich gross und zeitaufwändig. Dennoch wird die Idee weiter verfolgt mit dem Ziel, einen kostengünstigen Überblick der Inversionverhältnisse zu erhalten.

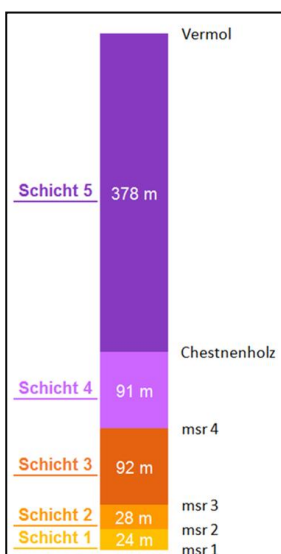


Abbildung 12 Schematische Darstellung der Messanordnung für das Temperaturprofil in Mels.

#### 5.4.1 Inversionshäufigkeit im Winter in Mels

Abbildung 13 zeigt die, über das Winterhalbjahr 2010/11 (Oktober 2010 bis März 2011) gemittelte, Häufigkeit von mittleren und starken Inversionen ( $\Delta T/100 \text{ m} > 1.5 \text{ °C}$ ) für Mels in den verschiedenen Schichten als Tagesverlauf. In der Klammer ist die Höhe der oberen Grenze der entsprechenden Schicht über Talgrund angegeben. Die meisten Inversionen sind im November, Februar und März registriert worden. Es ist ersichtlich, dass Inversionen in Mels grundsätzlich keine seltenen Ereignisse sind. Die Inversionen in Schicht 1 und Schicht 2 lösen sich aber fast immer um die Mittagsstunden komplett auf oder steigen in die Höhe und werden einige Stunden später in Schicht 3 wieder registriert. Diese Schicht zeigt überhaupt nur zwischen 14.00 Uhr und 16.00 Uhr einen Peak, welcher dafür mit 15% nicht klein ist. Während der Nacht bildet sich an ca. 33% aller Tage eine Inversion aus. Doch selbst im Hochwinter gibt es anscheinend genügend Einstrahlungsenergie, um die Inversionen im Verlaufe des Vormittages aufzulösen. Inversionen waren im Winter 2010/11 gleich häufig wie im Winter 2009/10. Einzig um die Mittagsstunden wurden etwas weniger Inversionen beobachtet als im Vorjahr.

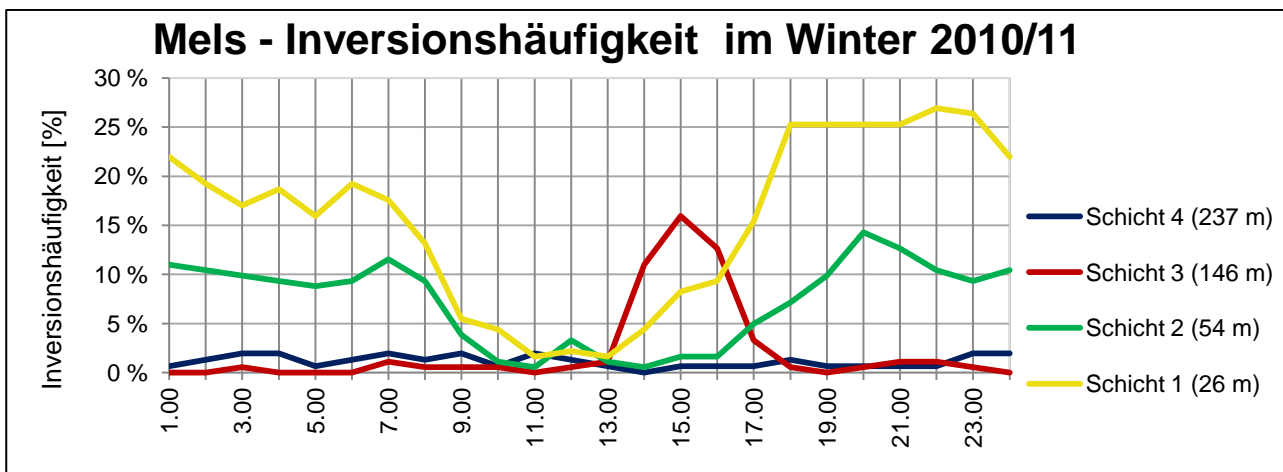


Abbildung 13 Die Graphik zeigt den mittleren Tagesgang für die Häufigkeit von mittleren und starken Inversionen ( $\Delta T/100 \text{ m} > 1.5 \text{ °C}$ ) vom 1.10.2010 bis 31.3.2011 für die einzelnen Schichten. In der Klammer ist die Höhe der oberen Grenze der Schicht über Talgrund angegeben. Am Morgen und am Abend waren in den untersten zwei Schichten oft Inversionen vorhanden, welche sich um die Mittagsstunden fast immer auflösten.

Die vier Grafiken in Abbildung 14 zeigen die Auswirkungen von Inversionen auf die Schadstoffkonzentrationen. Dabei wurden die Inversionen aller Schichten mit einbezogen. Die linke Seite zeigt Stundenmittel als täglichen Schadstoffverlauf für Werte ohne Inversion, die rechte Seite zeigt das Gleiche für Werte bei Inversion. Werte, welche bei schwacher Inversion gemessen wurden, sind hier nicht dargestellt. Ohne Inversion folgen die Konzentrationen dem bereits angesprochenen Muster (typische Tagesverläufe, Seite 14) mit Spitzenwerten während der verkehrsreichen Zeiten. Bei Inversion schiessen die Werte vor und nach dem Mittag in die Höhe. Während der Mittagszeit von 11.00 Uhr bis 14.00 Uhr liegen kaum Messwerte vor, da zu dieser Zeit während des ganzen Winters 2009/10 keine Inversion registriert wurde. Das heisst, es gab sehr selten eine durchgehende Inversionslage über mehrere Tage. Dementsprechend basieren die Mittelwerte um die Mittagszeit herum auf wenigen Ereignissen, was die starken Schwankungen erklärt. Zudem sind diese Einzelwerte nicht gleichmässig über die betrachtete Zeit verteilt, sondern treten gruppiert auf. Aus diesem Grund ist diese Darstellung mit Vorsicht zu geniessen. Um diesen Bereich zu verdeutlichen, wurden Werte, welche auf weniger als zehn Messungen beruhen, transparent dargestellt. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die Darstellung des Winters 2010/11 (Abbildung 14). Bei Inversionen sind Schadstoffspitzen während der verkehrsreichen Zeiten erkennbar. Auch wenn die Konzentrationen in der Nacht oft nicht oder nur wenig höher sind als bei Tage ohne Inversion, so



steigen sie zu diesen verkehrsreichen Zeiten bei vorherrschender Inversion noch stärker an. Für diese Beobachtung liegen aber nur bis morgens um 8.00 Uhr und abends ab 18.00 Uhr ausreichend Messdaten vor. Auffallend hier ist der hohe Kohlenmonoxidwert bei Inversion um etwa 8.00 Uhr. Dieser Wert basiert jedoch nur auf wenig mehr als zehn Messungen und ist somit auch kaum repräsentativ. Somit ist zwar ein leichter Inversionseffekt erkennbar, generell kann jedoch gesagt werden, dass Inversionslagen in Mels keinen grossen Einfluss haben. Daher war es nicht möglich, eine einfache Korrelation zwischen Schadstoffkonzentration und Inversionslage zu finden.

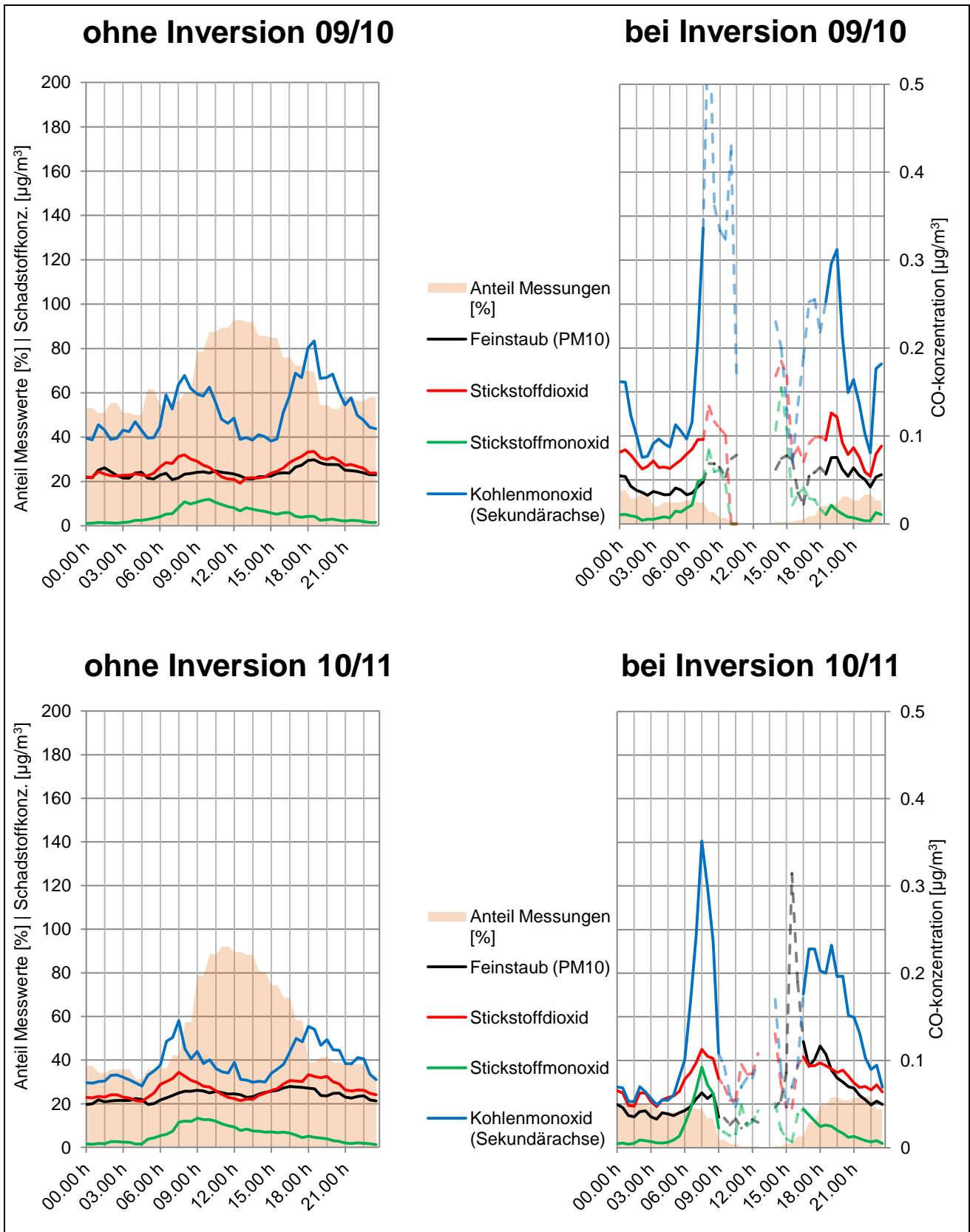


Abbildung 14 Darstellung des Stundenmittels für Mels im Winter 2009/10 (oben) und 2010/2011 ohne (links) und bei Inversion (rechts). Werte, die auf weniger als zehn Messungen basieren sind gestrichelt dargestellt. Die Schadstoffkonzentrationen für PM10, NO<sub>2</sub>, NO und der Anteil Messwerte ohne resp. bei Inversion am Total der Messwerte sind auf der primären x-Achse und die Konzentration von CO ist auf der sekundären x-Achse angegeben. Die y- und x-Achsen sind für alle vier Diagramme gleich. Die Inversionsdaten und Schadstoffdaten basieren auf Stundenmittel resp. Halbstundenmessungen. Erneut zu erkennen ist, dass kurz nach Mittag niemals Inversionen gemessen worden sind.

Eine weitere Darstellung der Inversionen ohne Einbezug der Schadstoffverläufe ist in Abbildung 15 ersichtlich. Sie zeigt alle Inversionen für die vier Schichten während Oktober 2010 bis März 2011 (x-Achse). Aus den Stundenmittel der Temperaturmessungen wurde bestimmt, um was für eine Art Inversion es sich handelt (y-Achse). In der untersten Schicht gibt es im Winter oft vom Abend bis am nächsten Morgen Inversionen. Auch in der zweiten Schicht sind zu dieser Zeit oft welche gemessen worden, wobei wesentlich weniger starke darunter sind. Es ist auch möglich, dass sich eine Inversion über beide Schichten erstreckt und somit zweimal dieselbe registriert wurde. In der dritten Schicht wurden in der Nacht fast keine Inversionen registriert. Das bedeutet, dass echte Bodeninversionen gefunden worden sind. Dafür treten in der dritten Schicht insbesondere die starken Inversionen am Nachmittag auf. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die Inversionen aufgrund der Sonneneinstrahlung in die Höhe steigen. Leider erklärt das nicht die Abwesenheit von Inversionen am frühen Nachmittag von etwa 12.00 Uhr bis 14.00 Uhr. Da die Inversionen in der dritten Schicht oft nicht stark ausgeprägt sind, kann es sein dass sie beim Aufsteigen nicht mehr messbar sind, weil sie sich in der Schicht selbst befinden und die Temperatur über die ganze Höhe der Schicht dennoch abnimmt.

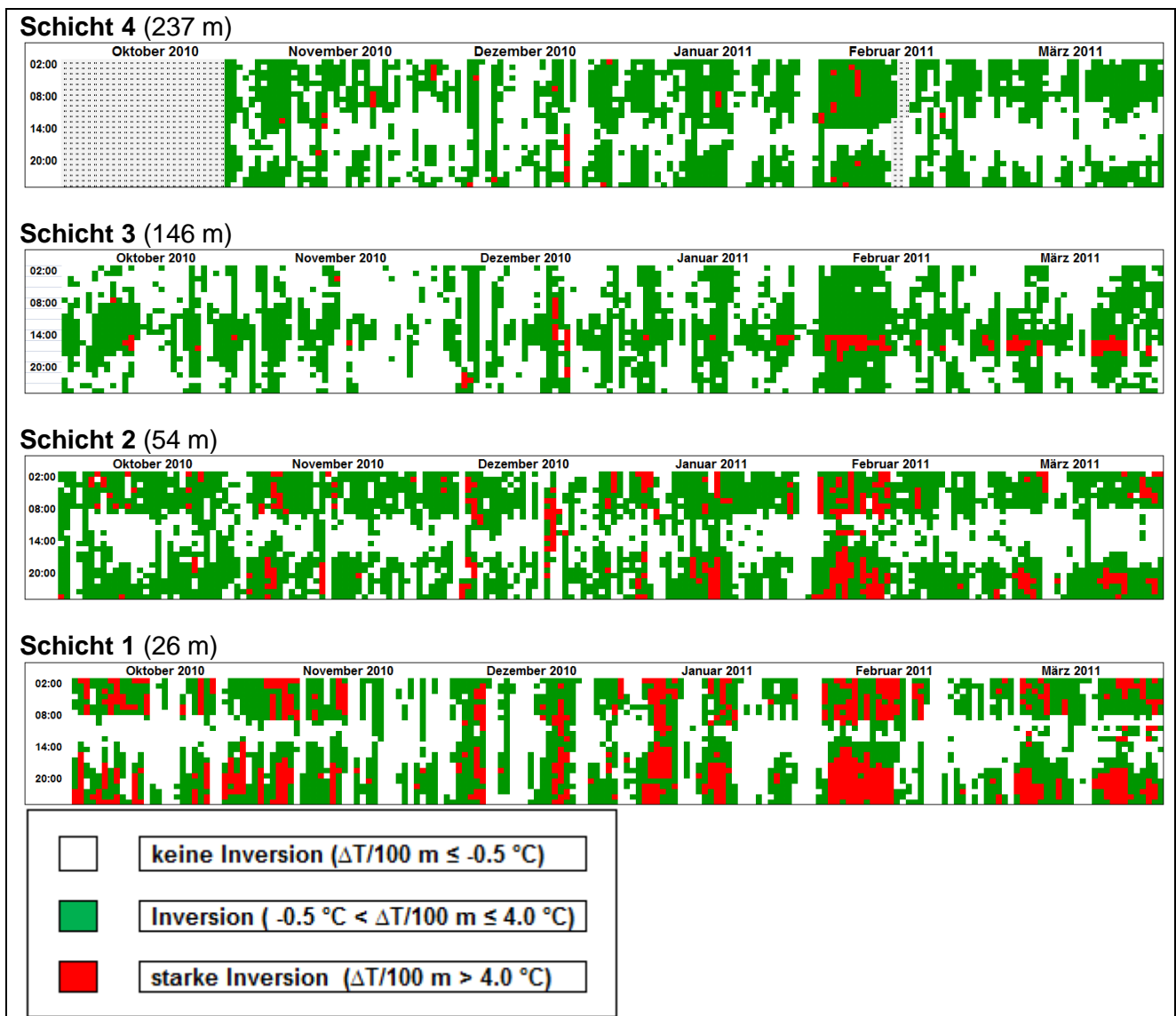


Abbildung 15 Inversionen während Oktober 2010 bis März 2011 (x-Achse). Für jede Stunde (y-Achse) wurde bestimmt, ob und wie stark die Inversion war und als Farbe dargestellt. Die längste Periode mit fast durchgehender Inversion findet sich anfangs Februar. Während dieser Zeit ist am Nachmittag jeden Tag eine starke Inversion in der dritten Schicht zu finden.

### 5.4.2 Ausblick Ebnat Kappel

Der typische Tagesverlauf während des Winters im Hinblick auf Inversionen ist in Ebnat Kappel generell gleich wie in Mels (Abbildung 16 und Abbildung 17). Auch hier scheinen sich die meisten Inversionen über die Mittagsstunden aufzulösen, jedoch etwas später als in Mels. Zudem gibt es in Ebnat Kappel generell mehr Inversionen. An rund 60% der Tage wurden Inversionen registriert, darunter vergleichsweise viele starke. Aber auch in Ebnat Kappel wurden keine starken Inversionen über die Mittagszeit zwischen 11.30 Uhr und 13.00 Uhr registriert.

Der typische Tagesverlauf ohne Inversion ist ähnlich wie derjenige aus Mels. Auch hier sind die Konzentrationspeaks zu den verkehrsreichen Stosszeiten zu erkennen. Für den typischen Schadstoffgang mit Inversion sind rund viermal so viel Werte vorhanden wie für Mels, was deutlich bessere Aussagen zum Zusammenhang mit den Schadstoffkonzentrationen ermöglichen wird.

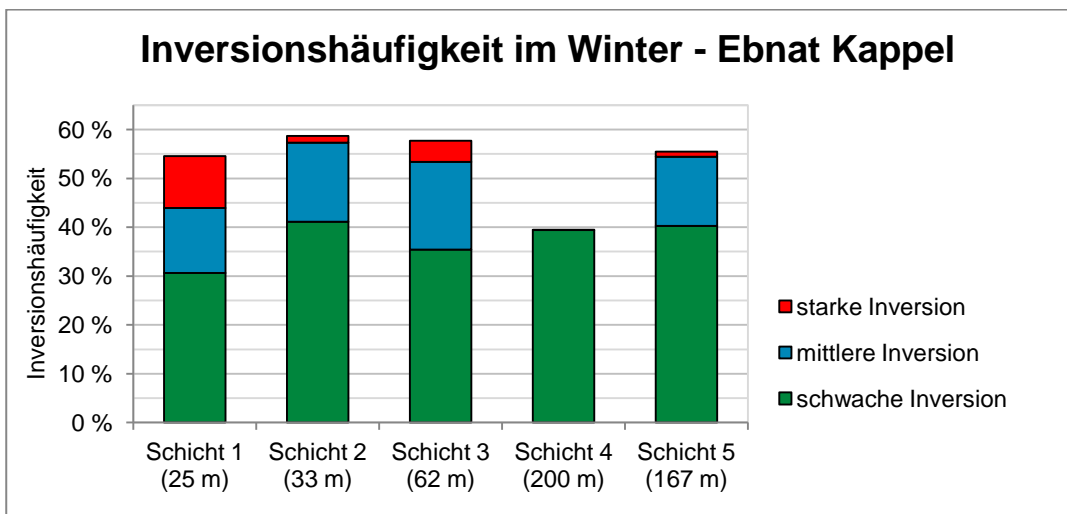


Abbildung 16 Inversionshäufigkeit in Ebnat Kappel für die fünf Schichten im Zeitraum vom 1.10.2010 – 31.3.2011.

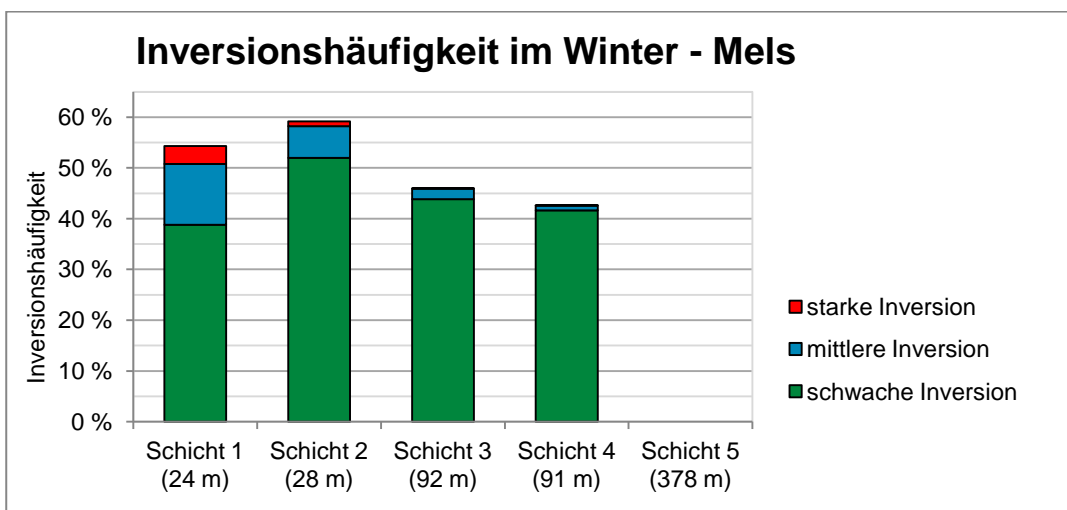


Abbildung 17 Inversionshäufigkeit in Mels für die fünf Schichten im Zeitraum vom 1.10.2010 – 31.3.2011.



## 6 Fazit

Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse aus dem Projekt Seeztal:

- a) Der Standorttypus der Messstation Mels wird gut abgebildet.
- b) Die Anordnung der Meteostandorte ist gut für die Erfassung von Inversionen und Windverhältnissen und liefert verwertbare Daten.
- c) Im Seeztal wurden wenig durchgehende Inversionen erfasst.
- d) Die Luftbelastung und die Meteodaten im Seeztal korrelieren stark mit denjenigen, die im Rheintal in Vaduz und Chur gemessen werden.
- e) Der Zusammenhang zwischen den Standorten Mels, Vaduz und Chur, A13 ist so stark, dass sich durch eine einfache Korrelation die Schadstoffwerte einer Station aus denjenigen der anderen berechnen lässt.
- f) Das Seeztal gehört aus lufthygienischer Sicht zum Rheintal, dem grössten Alpental im OSTLUFT-Gebiet und zeigt die typischen Eigenheiten eines Föhntales.
- g) Es sind wenig durchgehende Inversionen vorhanden, was konkrete Aussagen über den Zusammenhang mit Luftschadstoffverläufen erschwert.
- h) Weil in Ebnat Kappel mehr Inversionen zu erwarten sind, lohnt es sich diese Zusammenhänge dort auf gleiche Weise weiter zu untersuchen.

## 7 Anhang

### 7.1 Korrelation der Messstationen Chur (A13) und Mels

Die nachstehenden Diagramme vergleichen die Messwerte ausgewählter Schadstoffe (NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> und PM<sub>10</sub>) der Standorte Mels und Chur, A13.

