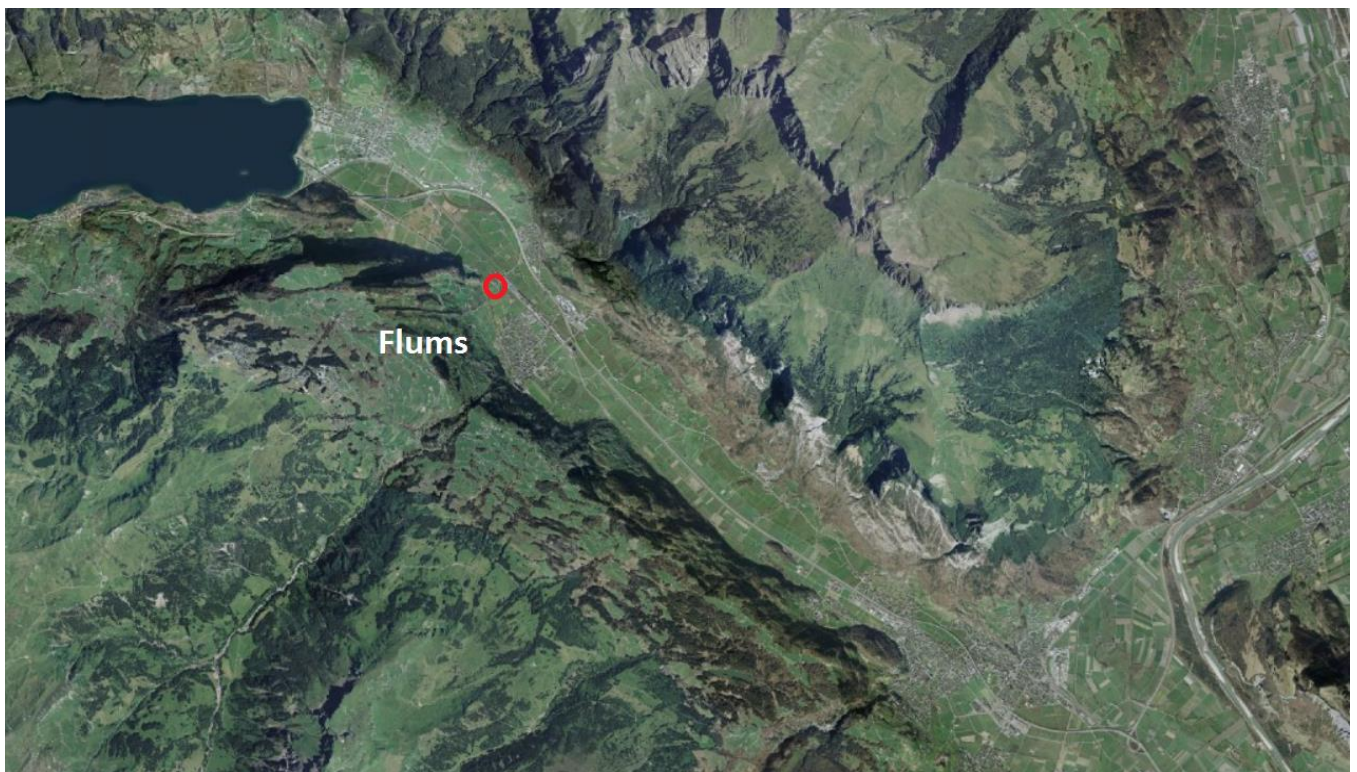


Immissionsmessungen in Flums, Hintergrundbelastung im Seetal



Schlussbericht 2017

Abkürzungsverzeichnis

BaP	Benzo(a)pyren
CO	Kohlenmonoxid
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EC	Russ, Elementarer Kohlenstoff (elemental carbon)
EKL	Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL)
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
LRV	Eidgenössische Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142.1)
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm (Schadstoff) pro Kubikmeter (Luft)
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide (Summenparameter = NO ₂ + NO, bezogen auf NO ₂)
OC	Organischer Kohlenstoff
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM10	Feinstaub Grössenklasse <10 μm
SO ₂	Schwefeldioxid

Impressum

Herausgeber:	OSTLUFT – Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein
Projektteam:	Hanna Herich, Dominik Noger, Susanne Schlatter
Auswertungen:	Hanna Herich
Kontakt:	OSTLUFT, sekretariat@ostluft.ch
Titelbild:	Standort ARA (roter Punkt) in Flums im Seetal, Kanton SG
Copyright:	© OSTLUFT, Abdruck mit Quellenangabe erwünscht

Bezug und weitere Informationen: Download pdf: www.ostluft.ch (eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Ziele	7
3	Methodik	7
3.1	Standortbeschreibung	7
3.2	Standortklassierung	9
3.3	Messparameter	9
4	Ergebnisse	9
4.1	Windsituation	9
4.2	Luftschadstoffe	10
4.2.1	Übersicht und Grenzwerte	10
4.2.2	Feinstaub PM10	12
4.2.3	Russ (EC)	13
4.2.4	Stickstoffdioxid (NO ₂)	13
4.2.5	Schwefeldioxid (SO ₂)	14
4.2.6	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	16
4.3	Messung und Modellierung	17
4.4	Luftschadstoffe und Emissionsquellen	19
4.4.1	Schadstoffausbreitung	19
4.4.2	Feinstaub in Partikelgrößenklassen	20
4.4.3	Staubniederschlagsmessungen	20
	Messmethode nach Bergerhoff	21
	Resultate	21
4.4.4	Weitere Feinstaubanalytik (Firma Particle Vision)	24
4.4.5	Immissionsgutachten Flums/Seeztal	25
4.5	Jahresgang und Inversionen	26

1 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Leitschadstoffe NO₂ und PM10 ist die Luftqualität in Flums ähnlich oder sogar besser als bei vergleichbaren Hintergrundsandorten. Dies war nicht unbedingt zu erwarten, da in Flums durch die Autobahn A3 und die Punktquelle der Steinwolleproduktion grössere Emissionsquellen als bei vergleichbaren ländlichen Standorten vorhanden sind. Grund für die verhältnismässig geringe Luftbelastung ist die topografisch günstige Lage des Seeztals, denn eine regelmässige und gute Durchlüftung sorgt dafür, dass sich die Luftschadstoffe nicht aufkonzentrieren können. Die Industrieemissionen stellen eine bedeutende Luftschadstoffquelle im Seeztal dar und können mit den Immissionsmessungen direkt in Zusammenhang gebracht werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese insgesamt im Verhältnis zu der im Seeztal vorherrschenden Hintergrundbelastung keine gravierende Zusatzbelastung für die Luftqualität darstellen.

Ausgangslage

Im Gebiet von OSTLUFT wird an rund 20 Standorten die Luftqualität anhand der Leitschadstoffe Stickstoffdioxid (NO₂), Feinstaub PM10 und Ozon (O₃) mit automatischen Messstationen in hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Basierend auf diesen Messwerten wird die Luftschadstoffbelastung für das gesamte OSTLUFT Gebiet modelliert. Um das Berechnungsmodell weiter zu verbessern sind unabhängige Messungen nötig. In Ergänzung zu den zahlreichen verkehrsorientierten Standorten gewinnt dabei lufthygienisch auch die Belastung an Hintergrundstandorten an Bedeutung.

Die politische Gemeinde Flums mit rund 5'000 Einwohnern liegt im Seeztal, einem markanten U-Tal. Durch die topographischen Verhältnisse entsteht in Flums eine spezielle lufthygienische Belastungssituation. Neben den Holzfeuerungen gelten insbesondere die Autobahn A3 mit einem DTV von 30'000 sowie die Steinwolleproduktion als wesentliche lokale Emissionsquellen. Zwischen 2015 und 2017 wurden am Standort Flums ARA kontinuierliche Luftqualitätsmessungen durchgeführt. Dieser Standort repräsentiert die Hintergrundbelastung im Tal. Ergänzend wurden weitere diskontinuierliche Messungen im Dorfzentrum durchgeführt.

Vergleichsweise tiefen Belastungen dank guter Durchlüftung

Die Ergebnisse zeigen, dass im Raum Flums die Jahresmittel-Immissionsgrenzwerte gemäss LRV für NO₂ und PM10 klar unterschritten werden. Auch der Tagesmittelgrenzwert für NO₂ wurde im gesamten Messzeitraum eingehalten. Der Tagesmittelgrenzwert für PM10 wurde fast immer eingehalten, lediglich im Januar 2017 gab es zwei Überschreitungen. Anders präsentiert sich die Situation, wie im gesamten OSTLUFT Gebiet, für Ozon, denn es wurde ein maximaler Stundenmittelwert von 171 µg/m³ (2015) bzw. 150 µg/m³ (2016) gemessen. Der Stundenmittelgrenzwert von 120 µg/m³ wurde an 180 Stunden (2015) und 47 Stunden (2016) überschritten. Insgesamt bewegen sich die Luftschadstoffbelastungen in Flums auf einem ähnlichen

Niveau wie an den OSTLUFT Standorten Vaduz und Chur RhB Verwaltungsgebäude und sind eher tiefer als an den Autobahn nahen Standorten Chur A13 und Mels. Die verhältnismässig tiefen Belastungen können durch die im Vergleich zu den anderen Standorten sehr gute Durchlüftung des Seeztals erklärt werden.

Basierend auf den punktuellen Messwerten der automatischen Messstationen wird die Luftbelastung flächendeckend dynamisch modelliert. Die Messwerte der jährlich wechselnden Projektstandorte wie Flums ARA fliessen jedoch nicht in das Berechnungsmodell ein. Die Belastungskarten werden laufend jede Stunde angepasst und als 24h-Mittelwert auf www.ostluft.ch dargestellt. Der Vergleich Messwert / modellierter Wert am Projektstandort Flums ARA zeigt, dass das Modell auch für einen Hintergrund-Standort im Seeztal sowohl für NO₂ als auch für PM10 in der Regel genügend gute Ergebnisse liefert. Im Mittel über alle Messungen im Jahr 2016 lag die Differenz zwischen Modell- und Messwert bei 5.4 µg/m³ für NO₂ und bei 0.75 µg/m³ für PM10.

Bedeutende Emissions-Punktquelle

Die Steinwolleproduktion ist eine bedeutende Luftschadstoff-Punktquelle im Seeztal, deren Industrieemissionen direkt mit den Immissionsmessungen in Zusammenhang gebracht werden konnten. Dies gilt insbesondere für SO₂ und Feinstaub (Partikelgrössenfraktion ab 0.5 µm). Im Sommer wurden Werktags mittlere SO₂ Konzentrationen von 10 µg/m³ und mehr am Standort Flums ARA gemessen, einzelne Spitzenwerte lagen bei über 50 µg/m³ (Stundenmittelwert).

Die Tages- und Jahresmittel-Immissionsgrenzwerte für SO₂ werden jedoch durchgehend klar eingehalten. Bei der Firma Meteotest wurde ein Immissionsgutachten in Auftrag gegeben, um den Einfluss der Industrieemissionen detaillierter zu quantifizieren. Das Gutachten zeigt, dass die Emissionen genügend verfrachtet und verdünnt werden, so dass sie im Verhältnis zu der im Seeztal vorherrschenden Hintergrundbelastung keine substantielle Zusatzbelastung für die Luftqualität darstellen. Ausnahmen bilden jedoch einzelne Phasen mit kurzzeitig klar erhöhter Belastung. Der Standort Flums ARA zeigt sich als repräsentativ für den Hintergrund des Seeztals. Aufgrund der meteorologischen Ausbreitungssituation treten die stärksten zusätzlichen Belastungen im Gebiet entlang der Autobahn südöstlich der Flumroc AG auf.

Grenzwerte für Staub eingehalten

Ergänzend zu den durchgehenden Messungen am Standort Flums ARA wurde an drei Standorten Staubniederschlagsmessungen durchgeführt. Der LRV-Grenzwert wurde an allen Messorten klar unterschritten. Wie erwartet ist die Belastung im Dorf etwas höher als am Hintergrundstandort ARA. Die Staubkonzentrationen in Flums sind vergleichbar mit anderen ländlichen Stationen im OSTLUFT-Gebiet. Auch der Einfluss der Steinwolleproduktion wurde abgeschätzt – es konnte kein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Im Vergleich zu anderen ländlichen Ostschweizer Standorten sind die Konzentrationen der Inhaltsstoffe Blei und Zink in Flums etwas erhöht, die Grenzwerte werden aber klar unterschritten.

Holzfeuerungen tragen zur Luftbelastung bei

In der Schweiz werden an verschiedenen Standorten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) erfasst. PAK entstehen bei unvollständigen Verbrennungen (z.B. von Holz, Treibstoffen usw.) und sie sind kanzerogen. In der Schweiz gilt das Minimierungsgebot für krebserregende Substanzen. Für den PAK Benzo(a)pyren liegt zudem ein Zielwert von 1 ng/m³ vor (EU-Commission 2004). An den Standorten Flums ARA und Flums Dorf wurde der Gehalt von zehn verschiedenen PAK im Feinstaub bestimmt. Den Hauptbeitrag zur Toxizität lieferte in Flums, wie an allen anderen Schweizer Standorten, das BaP. Für BaP wurde der EU-Zielwert zwar unterschritten, die Belastung ist jedoch im Verhältnis zu benachbarten OSTLUFT-Standorten etwas erhöht. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies auf den Einfluss von Holzfeuerungen zurückzuführen ist.

Vergleichsweise wenig Inversionen

In Tälern kommt es oft zu Inversionswetterlagen, so auch in Flums. Inversionen verhindern einen Austausch zwischen tiefer und höher liegenden Luftschichten und begünstigen die Bildung von Smog. Um abschätzen zu können, wie stark der Einfluss von Inversionen auf die Luftbelastung in Flums ist, wurden zur Erfassung von Inversionswetterlagen Temperaturmessungen mit Temperatursensoren durchgeführt. Generell gibt es in Flums deutlich weniger Inversionswetterbedingungen als an den früheren OSTLUFT-Projektstandorten wie beispielsweise Appenzell und Ebnet Kappel. Grund dafür ist die gute Durchlüftung des Seetals. Im gesamten zweijährigen Messzeitraum fanden lediglich vier mehrtägige Inversionen statt, die längste Inversionsphase mit den höchsten NO₂ und PM₁₀ Konzentrationen war im Januar 2017. In dieser Phase kam es dann auch zweimal zur Überschreitung des PM₁₀-Tagesmittelgrenzwertes.

2 Ziele

Das Seeztal ist verhältnismässig dicht besiedelt und durch eine Autobahn (A3) erschlossen. Die ausgeprägte U-Form des Tals mit beidseitig steilen Flanken und einer schmalen Talebene (ca. 1,5 km) prägt die Ausbreitungs- und Belastungssituation für Luftschadstoffe. Bei den Messungen in Flums standen die folgenden Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie ist die lufthygienische Situation am Dorfrand von Flums, stellvertretend für ein Dorf in Tallage und mit lokalen Quellen (Verkehr, Holzfeuerungen, Industrie)?
- Wie weit unterscheidet sich die Situation in winterlichen Belastungsphasen von derjenigen an vergleichbaren OSTLUFT Stationen (Chur und Vaduz, frühere Messungen aus Mels)
- Wie stark ist der Einfluss der lokalen Industrieemissionen, dazu spezielle Analytik der HiVol-Filter usw. (SO₂, Partikel und Feinstaub)

3 Methodik

3.1 Standortbeschreibung

Die Position des Messcontainers in Flums befand sich etwa 1 km ausserhalb des Dorfkerns in einem wenig bebauten Gebiet auf dem Gelände der ARA Seez (siehe Abb.1). Die Station wurde von April 2015 bis April 2017 betrieben. Parallel zum Messcontainer wurde im Dorfkern von Flums am Standort Altersheim ein Digital HiVol Sampler zur Messung von PM₁₀ während des gleichen Zeitraums eingesetzt. Für zusätzliche NO₂ Messungen wurde während des Jahres 2016 ein Passivsammler am Standort Bergstrasse eingerichtet. Abb. 2 zeigt einen Landkartenausschnitt mit den drei Standorten, der Windrose am Standort ARA, Lage der Firma Flumroc AG und dem Gebiet, in welchem Temperatursensoren zur Erfassung von bodennahen Inversionswetterlagen eingesetzt wurden.



Abb. 1: Standort Flums ARA

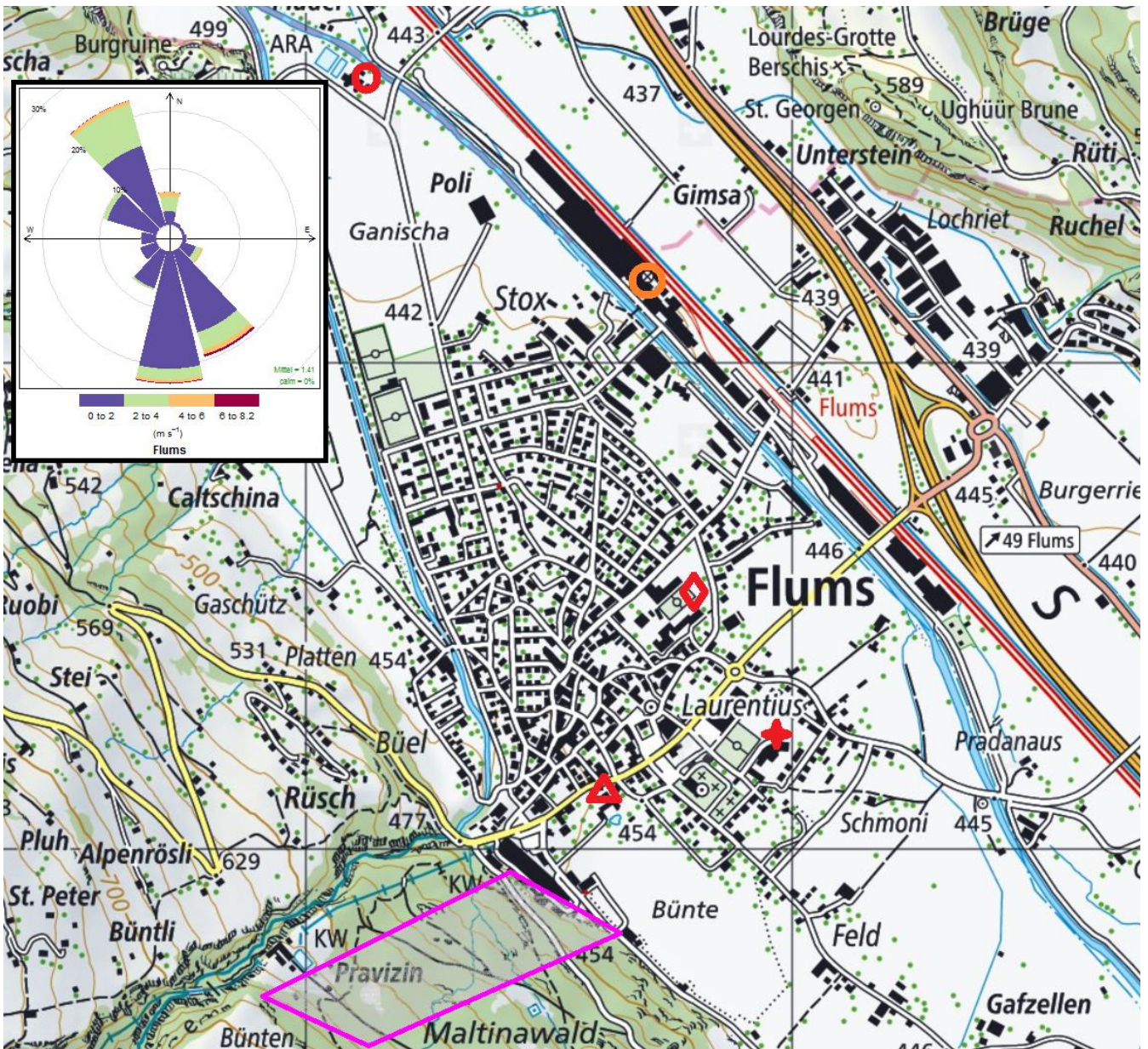













Abb. 2: Übersichtskarte Flums im Seeztal, Messstandorte in Rot: Kreis „ARA“, Kreuz „Altersheim“, Dreieck „Bergstrasse“, Raute „Schulhaus“. Oranger Kreis: Kamin der Steinwolleproduktion. Windrose für den Standort ARA. Fläche in Magenta: Gebiet in dem sechs Sensoren zur Erfassung der Temperatur eingesetzt wurden. Die Rasterlänge entspricht 1 km.

3.2 Standortklassierung

In der OSTLUFT Standortklassierung entsprechen die hier betrachteten Messstationen den Kategorien in Tab. 1.

Standort	m ü.M.	Standorttyp
Flums Bergstrasse	458	   
Flums Dorfzentrum	440	   
Flums ARA	437	  

Tab. 1: OSTLUFTStandorte (Flums Dorfzentrum nur HiVol sampler (Digitel), Flums Bergstrasse nur NO₂ Passivsammler). Eine genaue Beschreibung der Standorttypen unter: www.ostluft.ch.

3.3 Messparameter

			Jahr 2015												Jahr 2016												Jahr 2017														
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	...									
Flums Ara	Gas:	NOx, O ₃ , CO, SO ₂																																							
	Aerosol:	PM10 Hivol, PM10 Fidas, ELPI																																							
	Meteo:	T, p, Hr, Wind, usw.																																							
Flums Bergstrasse	Gas:	NO ₂																																							
Flums Dorfzentrum	Aerosol:	PM10 Hivol																																							

Tab. 2: Messeinsatz der Messgeräte an den Stationen

Tab. 2 zeigt den Einsatz der Messgeräte in Flums. Der ELPI am Standort Flums ARA zur Erfassung von Partikelgrössenklassen lief nur im Zeitraum Apr. 2015 - Apr. 2016. Die Messreihen aller Geräte wurden mit der jahreszeitentsprechenden Sommer bzw. Winterzeit berechnet und sind daher miteinander vergleichbar.

4 Ergebnisse

4.1 Windsituation

Die Ausrichtung des Seetzals verläuft von Nordwest nach Südost. Der Wind ist durch die Tallage kanalisiert. Dementsprechend weist die Windrose nur zwei Hauptwindrichtungen auf. Abb. 3 (links) zeigt die Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit am Standort Flums ARA. Nachts weht der Wind meist aus Südost und resultiert aus dem Talabwind des oberen Rheintals und Seetzals. Tagsüber weht der Wind aus der entgegengesetzten Richtung. Die Windrichtungen wurden separat für

Sommer und Winter analysiert. Der jahreszeitbedingte Unterschied im Tagesverlauf ist dabei gering: Im Winter ist der Tagesverlauf etwas ausgeprägter und es gibt eine leichte zeitliche Verschiebung.

In Abb. 3 (rechts) Ist die Auftrittshäufigkeit der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Tageszeit dargestellt. Nachts treten die niedrigsten (meist unter 1 m/s) und tagsüber die höchsten Windgeschwindigkeiten (0.5 - 2 m/s) auf. Im Vergleich zum nahegelegenen Rheintal sind die Windgeschwindigkeiten verhältnismässig gering, dort liegen sie tagsüber häufig bei 3-4 m/s.

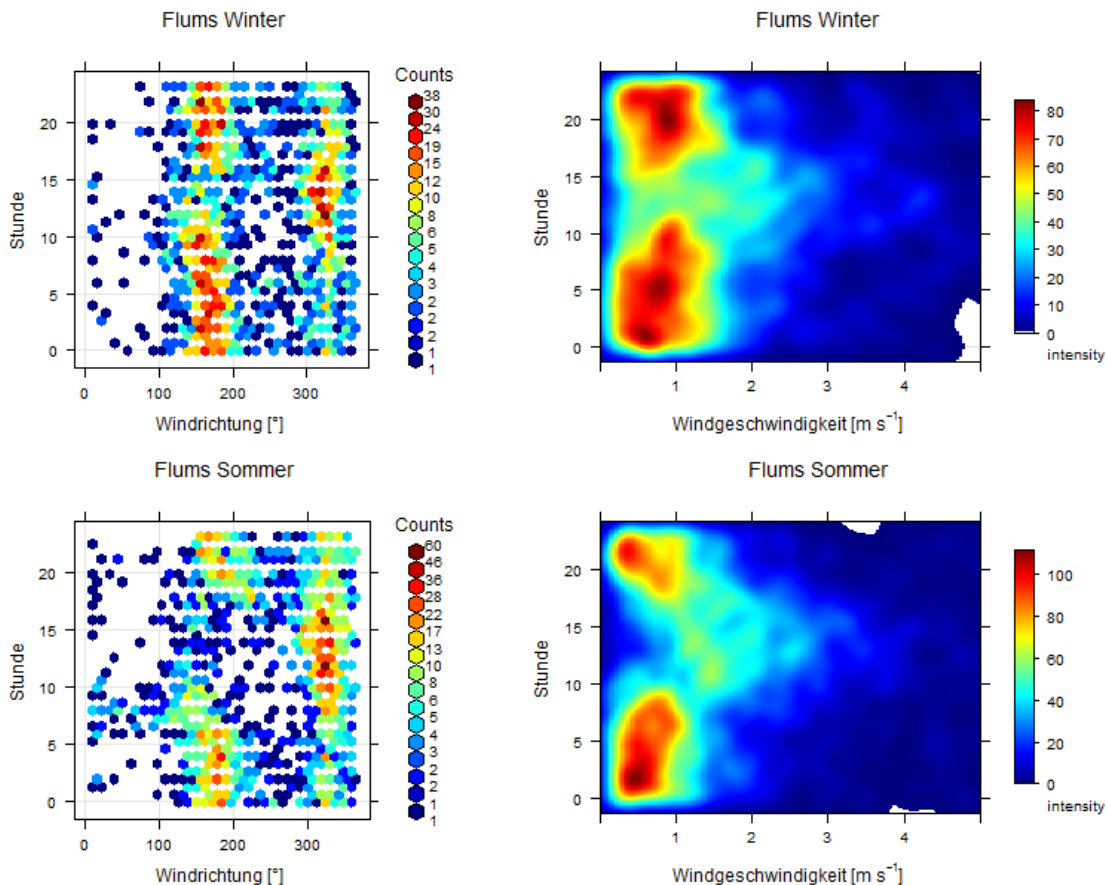


Abb. 3, links: Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit, Winter (**oben**) und Sommer (**unten**). **Rechts:** Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit (farbkodiert interpolierte Intensität der Messdatenpunkte), Winter (**oben**) und Sommer (**unten**).

4.2 Luftschadstoffe

4.2.1 Übersicht und Grenzwerte

Abb. 4 zeigt die Jahresmittelwerte für 2015 und 2016 von NO₂, Feinstaub PM₁₀, Russ EC (elemental carbon), SO₂, CO und Ozon an den Messstationen in Flums. Die NO₂ Konzentrationen liegen am strassennahen Standort Bergstrasse bei 20 µg/m³ und an der Hintergrundstation ARA bei 12-14 µg/m³. Dies zeigt deutlich

den Einfluss der Strasse im Vergleich zum Hintergrundstandort ARA. Die PM10 Konzentrationen an den Standorten ARA und Dorf sind nahezu gleich und liegen um $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch die Russbelastung ist mit etwa $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gleich. Die Ergebnisse zeigen, dass der Messstandort ARA im Hinblick auf Feinstaub gut mit dem allgemeinen Dorfhintergrundniveau in Flums übereinstimmt. Die Jahresmittelwerte für die Schadstoffe SO_2 und CO lagen bei $1.4\text{-}2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Für NO_2 , PM10, SO_2 und CO liegen Immissionsgrenzwerte gemäss LRV vor (Jahresmittelwert: NO_2 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und SO_2 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sowie 24h-Mittelwert (darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden): NO_2 : $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und CO: $8 \text{mg}/\text{m}^3$). die Jahresmittelgrenzwerte wurden an allen Standorten weit unterschritten. Der Tagesmittelgrenzwert für NO_2 , SO_2 und CO wurde im gesamten Messzeitraum eingehalten. Der Tagesmittelgrenzwert für PM10 wurde 2015 und 2016 eingehalten, im Januar 2017 gab es zwei Überschreitungen.

Für Ozon wurde ein maximaler Stundenmittelwert von $171 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahr 2015) bzw. $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahr 2016) gemessen. Der Stundenmittelgrenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde während 180 Stunden (2015) bzw. 47 Stunden (2016) überschritten.

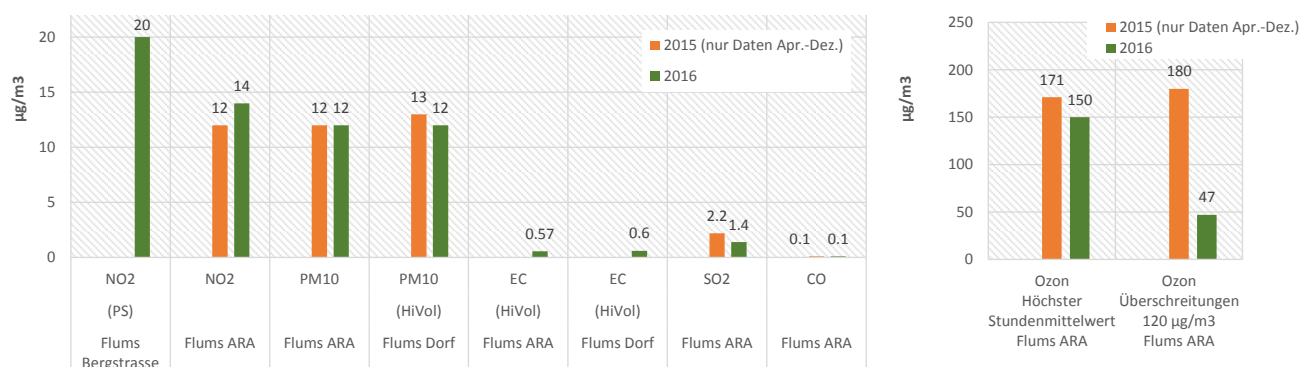


Abb. 4, Links: Jahresmittelwerte für NO_2 , PM10, EC, SO_2 und CO an drei Standorten in Flums für das Jahr 2015 und 2016 (Sofern nicht anders vermerkt wurden die Jahresmittelwerte anhand der kontinuierlichen Messungen berechnet. 2015: Nur Daten April – Dezember). **Rechts:** Höchster Stundenmittelwert Ozon und Anzahl der Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Standort Flums ARA.

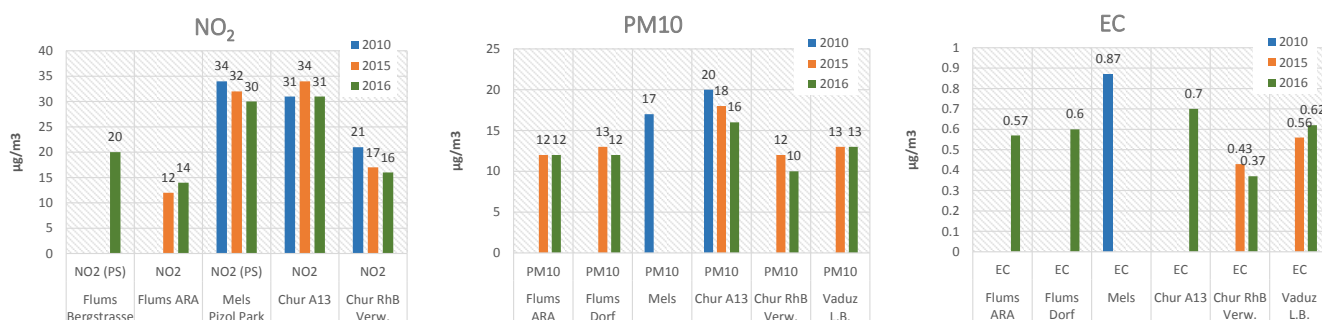


Abb. 5: Jahresmittelwerte für NO_2 , PM10 und EC in Flums, Mels, Chur und Vaduz aus den Jahren 2010, 2015 und 2016 soweit vorhanden (Jahresmittelwerte Flums 2015: Nur Daten April - Dezember).

In Abb. 5 sind die Jahresmittelwerte aus Flums für NO₂, PM₁₀ und EC im Vergleich zu weiteren Messungen im Seetal (Mels, Wältigasse 2010 und Passivsammler Mels Pizol Park) und parallelen Messungen im Rheintal (Vaduz Landesbibliothek, Chur A13, Chur RhB Verwaltungsgebäude) dargestellt. Die Daten sind nur bedingt vergleichbar, da nicht für alle Jahre und Standorte parallele Messungen vorliegen. Insgesamt bewegen sich die Luftschadstoffbelastungen in Flums generell auf einem ähnlichen Niveau wie in Vaduz und Chur RhB Verwaltungsgebäude. Für NO₂ sind die Belastungen viel tiefer als an den autobahnnahen Standorten Chur A13 und Mels Pizol Park. Die Entfernung zur Autobahn beträgt am Standort Flums ARA gut 500 m, an autobahnnahen Gebieten in Flums würden sich die NO₂ Konzentrationen aber wahrscheinlich analog zu den Standorten Chur A13 und Mels Pizol Park in der Nähe des Grenzwerts bewegen.

4.2.2 Feinstaub PM₁₀

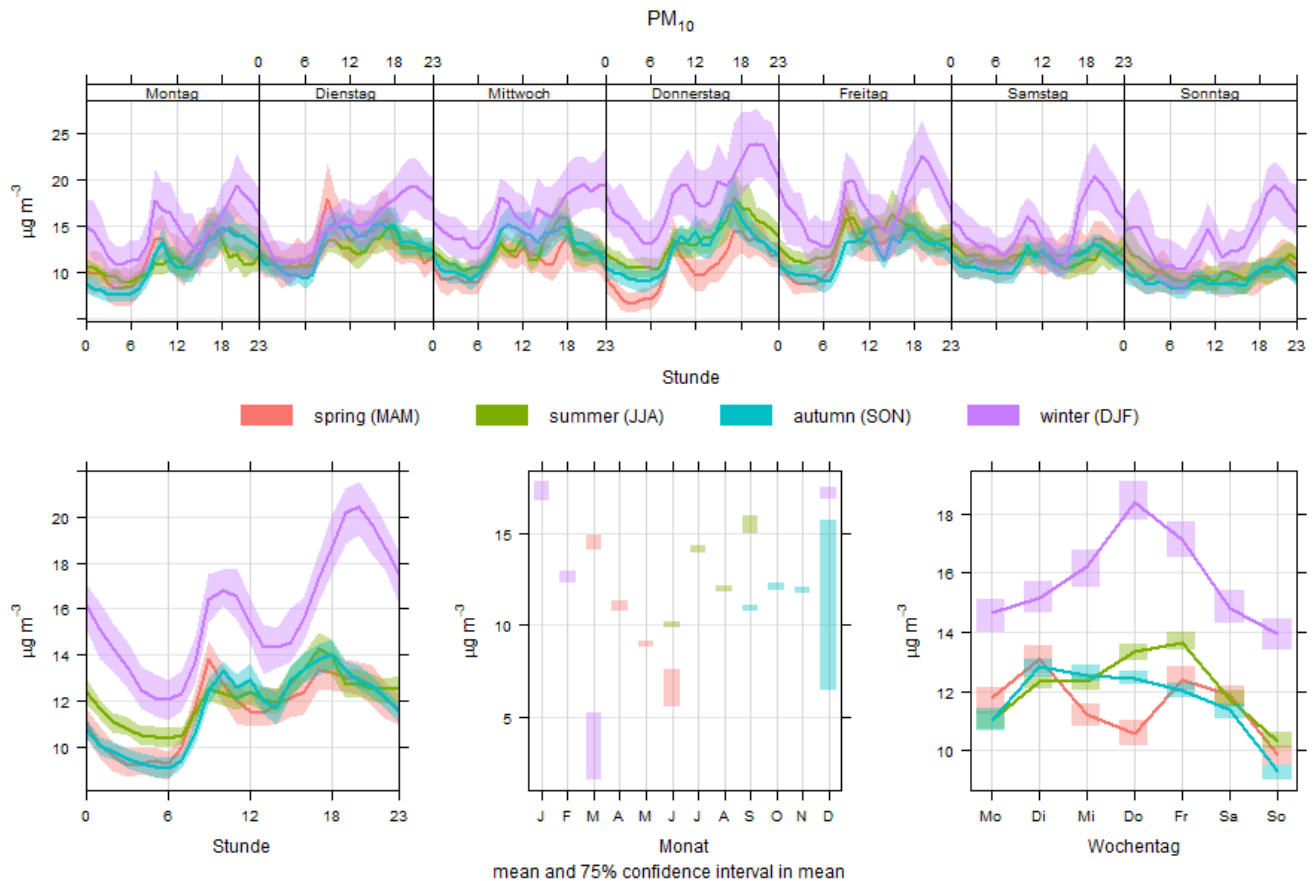


Abb. 6: Vergleich der PM₁₀-Belastung am Standort Flums ARA., mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts).

Abb. 6 zeigt die Feinstaubkonzentrationen in verschiedener Zeitaufösung am Standort Flums ARA für alle Jahreszeiten. Das Feinstaub-Hintergrundniveau liegt in Flums bei rund 10 µg/m³. Im Winter liegen die

Konzentrationen im Tagesmittel um $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, im Sommer um $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Tagesverlauf variieren die Konzentrationen stark, im Winter liegen sie nachts durchschnittlich um $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am späten Abend hingegen um $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (winterliche Bodeninversion). Nachts werden in Tälern oft tiefe Konzentrationen durch nächtliche Berg- oder Hangabwinde, oder abendliche Kaltluftabflüsse aus Seitentälern herbeigeführt, so auch in Flums. Im Frühling, Sommer und Herbst sind die PM10 Konzentrationen im Tagesverlauf ausgeglichener, sie variieren zwischen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nachts) und $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hauptverkehrszeiten).

4.2.3 Russ (EC)

Als Russ wird der elementare Kohlenstoff (EC) bezeichnet. Der Richtwert für Russ gemäss EKL liegt bei $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für Flums liegen Tagesmittelwerte der EC Konzentrationen (bestimmt anhand der HiVol Quarzfilter und Reflexion) gemäss Stichprobenkonzept (jeder zwölfte Tag) vor. Abb. 7 zeigt die EC Messungen (Tagesmittelwerte aus Stichprobenkonzept) für Flums ARA und Flums Dorf im Vergleich zu den Messungen der Station Vaduz Landesbibliothek von 2015-2017.

Die Konzentrationen an den beiden Standorten Flums ARA und Flums Dorf sind nahezu identisch. In Vaduz verlaufen die EC Konzentrationen häufig simultan zu den Flumser Messungen, vereinzelt gibt es aber auch grosse Unterschiede (z.B. Nov. 2015). Alle drei Standorte zeigen einen ausgeprägten Jahresgang mit höchsten Konzentrationen von über $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Winter und tiefen Konzentrationen um $0.2\text{-}0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Sommer. Der parallele Verlauf der Konzentrationen an den drei Standorten kann oft durch grossflächige Wetterlagen erklärt werden (winterliche Inversionen, Frontdurchgänge und vergleichbare Aktivitätsmuster).

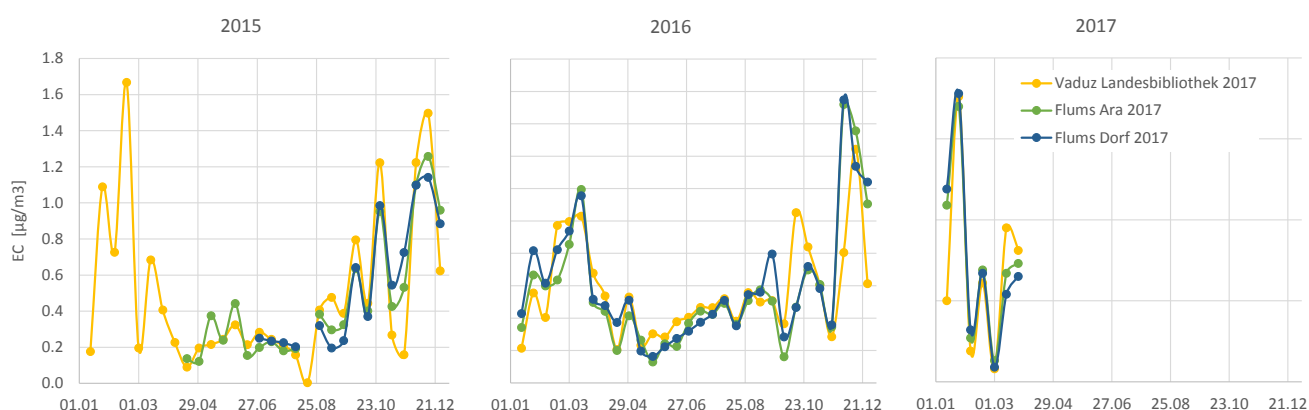


Abb. 7: Jahresgang der EC-Konzentrationen (Tageswerte Stichprobenkonzept).

4.2.4 Stickstoffdioxid (NO₂)

Abb. 8 zeigt die NO₂-Konzentrationen in verschiedener Zeitauflösung in Flums. Für alle Jahreszeiten ist deutlich der stark verkehrsabhängige Tagesverlauf (Morgen- und Abendpeak) erkennbar. Die Belastung zeigt

einen Wochengang, am Wochenende sinken die Konzentrationen leicht ab. In Flums bewegen sich die NO₂ Konzentrationen im Monatsmittel zwischen 8-10 µg/m³ im Sommer und 20-30 µg/m³ im Winter. Die Tageshöchstwerte liegen während der Hauptverkehrszeiten durchschnittlich bei 17 µg/m³ im Sommer und 36 µg/m³ im Winter. Im Sommer ist der morgendliche Hauptverkehrspeak am stärksten ausgeprägt, im Winter hingegen der abendliche Hauptverkehrspeak. Grund dafür sind wahrscheinlich die Windgeschwindigkeiten, im Sommer ist das Tal abends besser durchlüftet als im Winter.

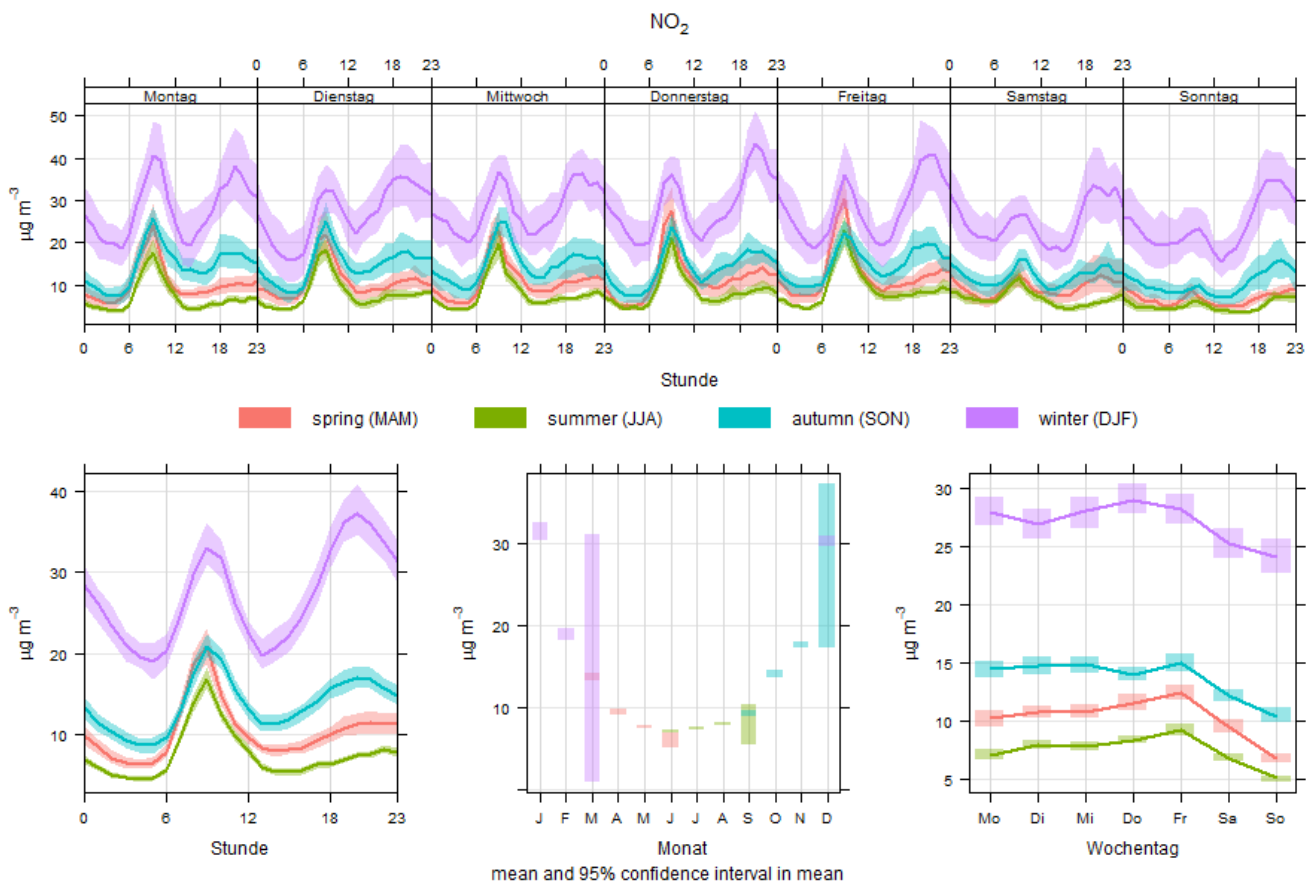


Abb. 8: Vergleich der Stickstoffdioxidbelastung in Flums. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts) für die Stickoxide.

4.2.5 Schwefeldioxid (SO₂)

Die SO₂-Emissionen in der Schweiz haben in den letzten 40 Jahren um mehr als 90% abgenommen, heute kommen Schweizweit keine Überschreitungen des Jahresmittel-Grenzwerts von 30 µg/m³ mehr vor, da der Schwefel aus den Brennstoffen entfernt wurde. Der weitaus grösste Anteil der derzeitigen Emissionen kommt nach wie vor aus Industriequellen. In Flums emittiert die lokale Industrie SO₂. Abb. 9 zeigt die SO₂ - Konzentrationen in Wochenaufösung am Standort Flums ARA. Es ist deutlich zu sehen, dass die SO₂ Immissionen ausschliesslich während der Werkzeuge und insbesondere zwischen Vor- und Nachmittag

detektiert wird. Grundsätzlich emittiert die Steinwolleproduktion von Montagnachmittag bis Samstagnachmittag regelmässig. Aufgrund der vorherrschenden Windrichtungen (siehe Windrose, Abb. 3) wurden die Emissionen jedoch nur zwischen Vor- und Nachmittag bei der Messstation detektiert. Werktags wurden im Sommer Konzentrationen von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und mehr am Standort Flums ARA gemessen, einzelne Spitzenwerte lagen bei über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stunden-Mittelwert). In Kapitel 4.4.5 wird das Ausbreitungsmuster der Emissionen der Flumroc AG ausführlich dargestellt.

Abb. 10 zeigt die Konzentrationen von SO_2 als mittlerer Tagesgang auf Monatsbasis für die acht Hauptwindrichtungen. Auch hier zeigt sich das gleiche Zeitfenster in dem SO_2 gemessen wurde. Höchste Konzentrationen vor allem bei Windrichtungen aus den Süd-Sektoren auf, also bei Wind aus Richtung Flumroc AG. Die vereinzelt Immissionen während der anderen Windrichtungen können durch Wetterlagen erklärt werden, bei denen die Emmissionsfahne am Walensee kehrt und in Richtung Messstation getrieben wird.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass die SO_2 Emissionen der Steinwolleproduktion zwar deutlich messbar sind, die Grenzwerte (Tages- und Jahresmittel) werden aber klar unterschritten.

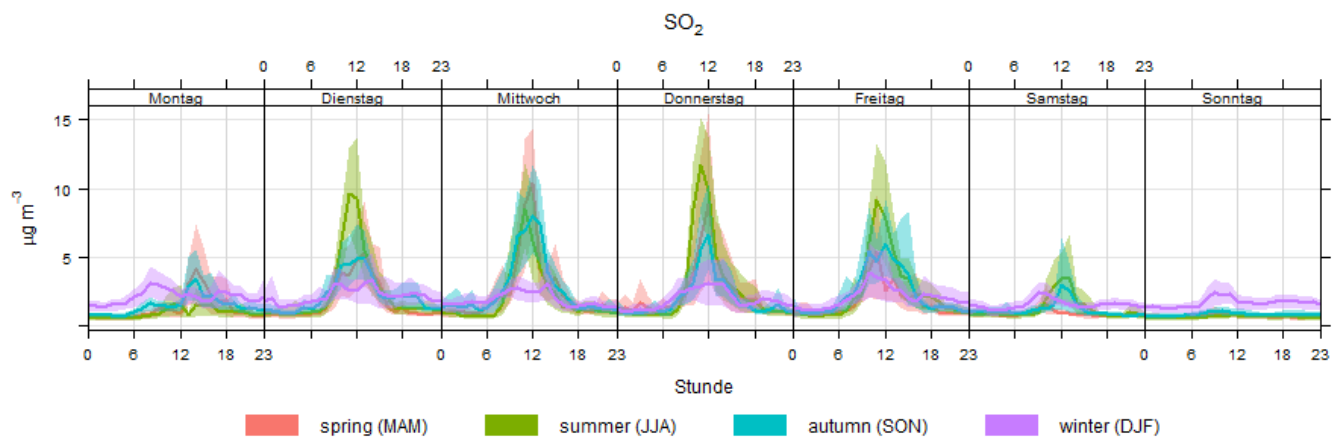


Abb. 9: Vergleich der SO_2 Belastung in Flums. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben).

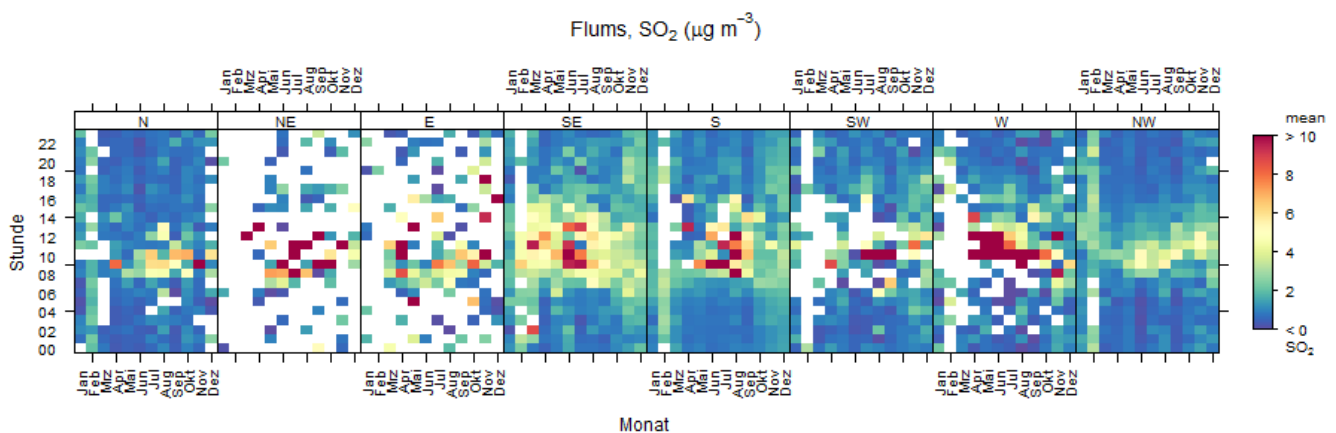


Abb. 10: Konzentrationen von SO_2 (Farbkodiert) als mittlerer Tagesgang auf Monatsbasis für die acht Hauptwindrichtungen (weisse Flächen: keine Daten vorhanden).

4.2.6 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischen Materialien (z.B. Holz, Treibstoffe etc.). Zahlreiche PAK sind nachweislich krebserregend. In der Schweiz gibt es für karzinogene Substanzen keine Immissionsgrenzwerte, es gilt das Minimierungsgebot. Für das krebserregende Benzo(a)pyren (BaP) im PM10 liegt gemäss EU-Commission 2004 ein Zielwert von 1 ng/m³ vor. An den Standorten Flums ARA und Flums Dorf wurde der Gehalt von zehn verschiedenen PAK im Feinstaub (PM10) bestimmt. Die Analyse wurden analog zu den PAK Messungen des NABEL (EMPA, PAK Bericht 2016) durchgeführt; es wurden die gleichen PAK gemessen und die Konzentrationen wurden ebenfalls als Quartalsmittelwert bestimmt. Da die höchste Belastung durch PAK im Winterhalbjahr auftritt ist, wurden nur die Quartalsmittelwerte des 1. und 4. Quartals, Januar bis März und Oktober bis Dezember bestimmt.

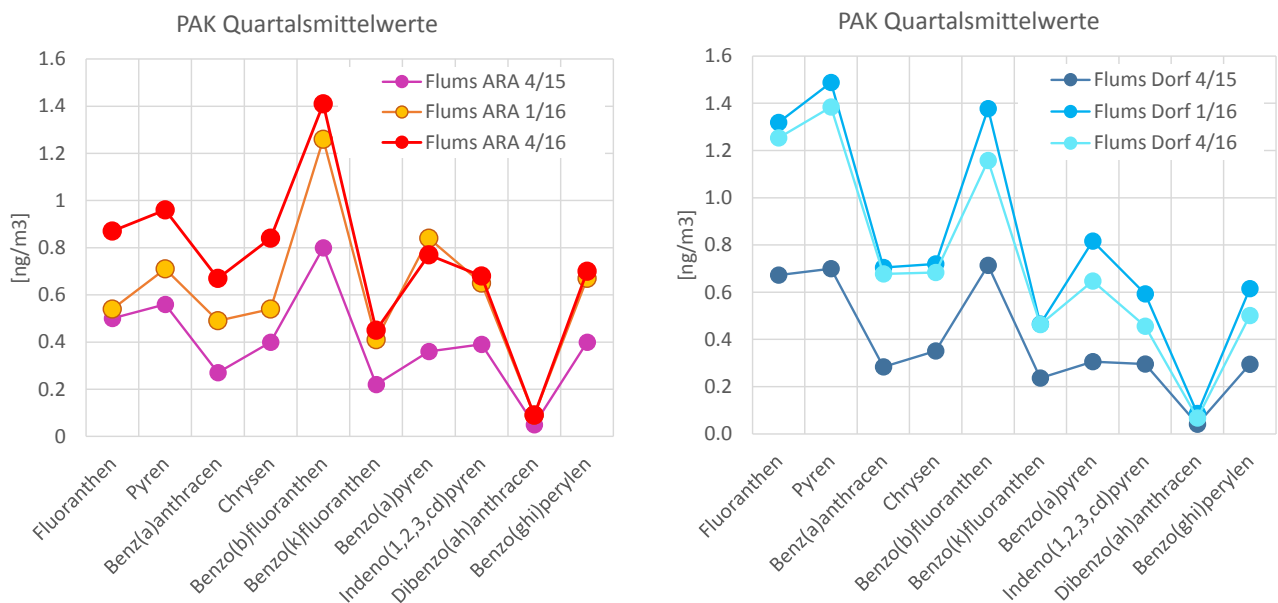


Abb. 11: Winterquartalswerte (soweit vorhanden 4/2015, 1/2016 und 4/2016) verschiedener PAK an den Standorten Flums ARA, Flums Dorf, Vaduz Landesbibliothek und Maienfeld A13.

Abb. 11 zeigt die Quartalsmittelwerte der zehn PAK an den Standorten Flums ARA und Flums Dorf. An beiden Standorten ist das Verhältnis der unterschiedlichen PAK zueinander in den drei untersuchten Winterquartalen relativ konstant, das Belastungsmuster zeigt den Einfluss lokaler Emissionen. Die absoluten PAK Konzentrationen variieren leicht von Quartal zu Quartal. Von allen betrachteten Quartalen traten 04/2015 die tiefsten Konzentrationen auf. Am Standort Flums ARA dominiert Benzo(b)fluoranthen (Quellen z.B. fossile Brennstoffe) die absoluten PAK Konzentrationen, während am Standort Flums Dorf sowohl Fluoranthen

(Quellen z.B. Teer), Pyren als auch Benzo(b)fluoranthen höher konzentriert sind als andere PAKs. Benzo(a)pyren-Konzentrationen (Quellen z.B. Auto- und Industrieabgase sowie insbesondere Holzfeuerungen) mit bis zu 0.8 ng/m³ im Winter wurden sowohl in Flums ARA als auch in Flums Dorf gemessen. Im Hinblick auf die PAK Belastung war Benzo(a)pyren in Flums im Vergleich zu benachbarten Standorten (z.B. Maienfeld und Vaduz) etwas erhöht (zusätzliche Quelle zum Verkehr, z.B. Holzfeuerungen). Abb. 12 zeigt die absoluten Beiträge einzelner PAK und die relativen Beiträge einzelner PAK zur Toxizität von PM10 als Winterquartalsmittelwerte für die Standorte Flums ARA und Flums Dorf sowie an anderen Schweizer Standorten (Daten aus PAK-Bericht 2015, Empa). Während die absoluten Beiträge der einzelnen PAK von Standort zu Standort variieren (Vergl. Abb 11) unterscheiden sich die relativen Beiträge zur Toxizität von PM10 an den vier Standorten im Rhein- und Seeztal kaum von denen an anderen Schweizer Standorten. Den Hauptbeitrag zur Toxizität liefert an allen Standorten BaP.

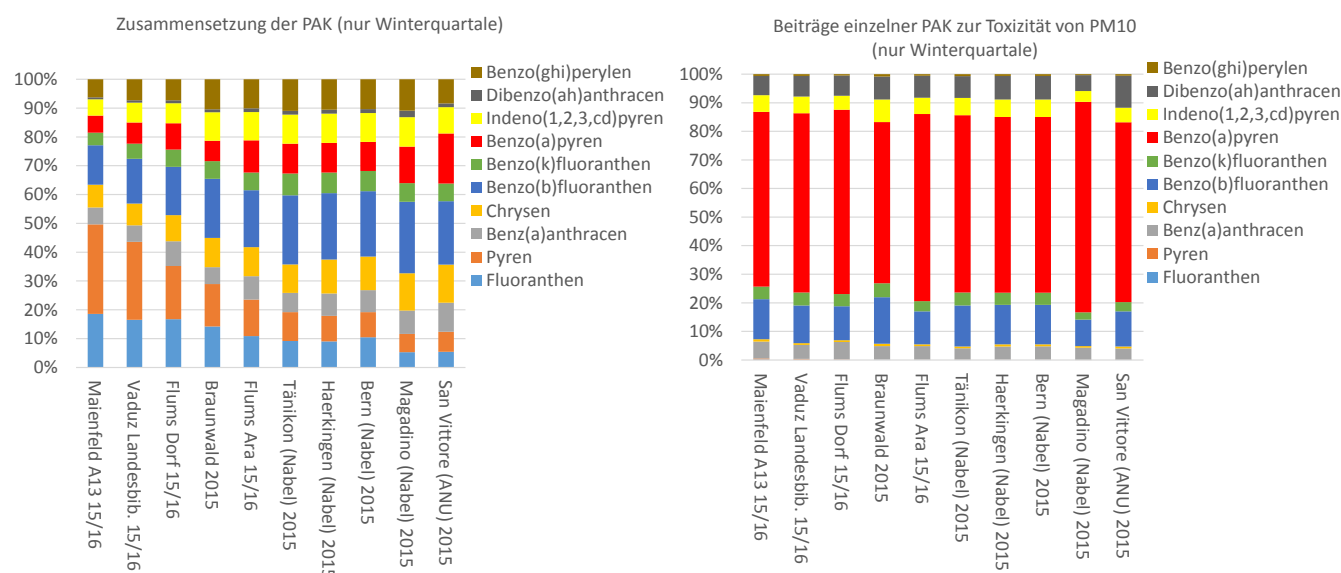


Abb. 12: Winterquartalswerte (soweit vorhanden aus 2015 und 2016) verschiedener PAK an den Standorten Flums ARA und Flums Dorf, sowie weiterer OSTLUFT, ANU und NABEL Stationen (PAK-Bericht, Empa 2016).

4.3 Messung und Modellierung

OSTLUFT modelliert Luftschadstoffbelastungen von NO₂ und PM10 anhand eines Berechnungsmodelles. Um das Modell weiter zu verbessern sind unabhängige Messungen nötig, diese werden gemäss Messkonzept MK2012B mit festen und mobilen Messstationen durchgeführt. Für das Seeztal waren bisher kaum Daten verfügbar.

Zur Beurteilung der Luftqualität setzt OSTLUFT neben den Messungen auch dynamische flächendeckende Modellierungen ein. Um die Genauigkeit der Modellierungen im Raum Seeztal zu überprüfen und zu verbessern, wurden in Flums Messungen durchgeführt.

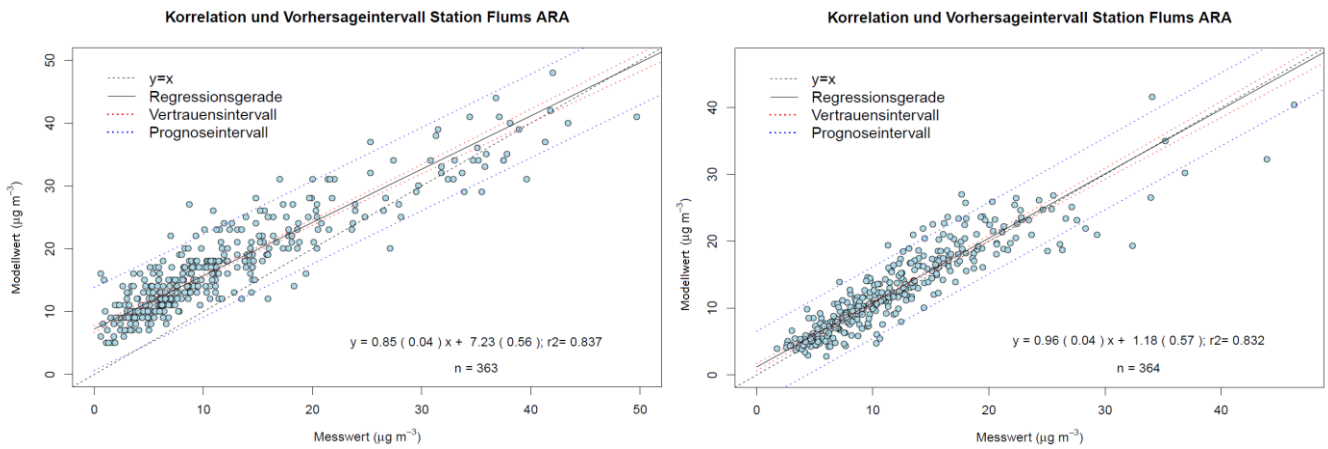


Abb. 13, links: Vergleich zwischen modellierten und gemessenen NO₂ Tagesmittelwerten mit Regressionsgerade, 95% Vertrauens- und Prognoseintervall. **Rechts:** Vergleich zwischen modellierten und gemessenen PM₁₀ Tagesmittelwerten mit Regressionsgerade, 95% Vertrauens- und Prognoseintervall.

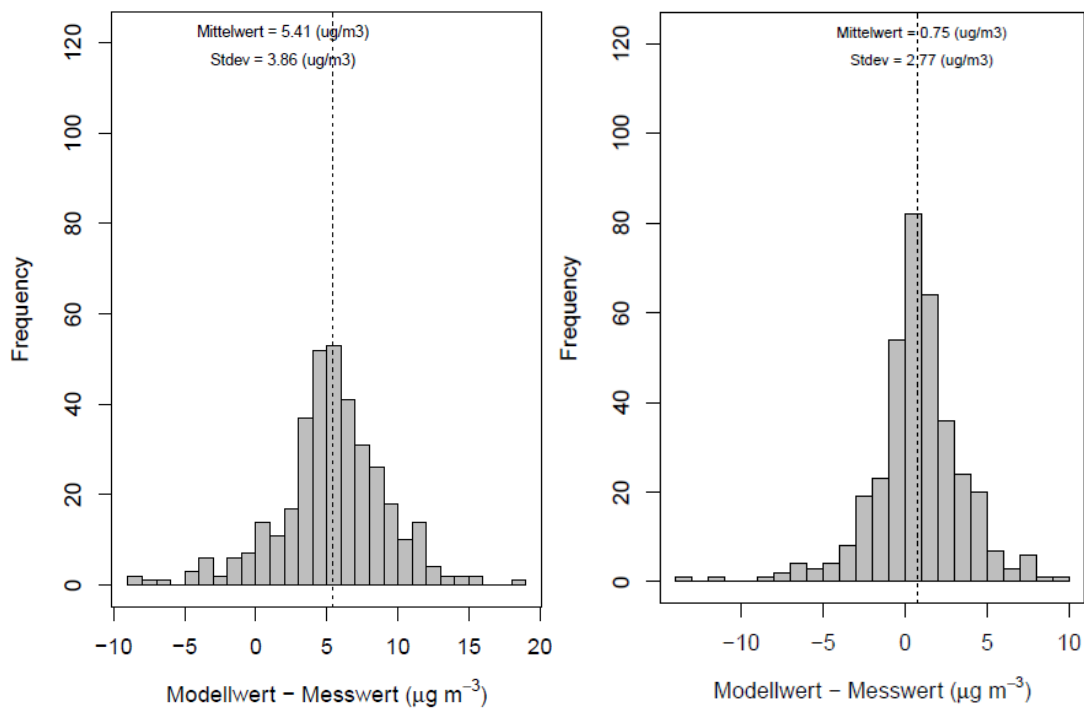


Abb. 14, links: Verteilung der Differenz Modellwert-Messwert für NO₂ Tagesmittelwerte. **Rechts:** Verteilung der Differenz Modellwert-Messwert für PM₁₀ Tagesmittelwerte.

Die gemessenen Daten aus Flums dienen nun als unabhängige Messdaten für die Validierung von modellierten Belastungssituationen im Ostluftraum (KBMap Modell). Abb. 13 zeigt den Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂ und PM₁₀ Daten (Tagesmittelwerte) am Standort Flums ARA. Abb. 14 zeigt ein Histogramm der Differenz von Modell- und Messwert für NO₂ und PM₁₀. Im Mittel über alle

Messungen 2016 lag die Differenz zwischen Modell- und Messwert bei $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2 und bei $0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} .

Kurzfasit für den Standort Flums:

- Das Modell stimmt mit den Messwerten recht gut überein, sowohl für NO_2 wie auch für PM_{10} . Im Vergleich zu anderen OSTLUFT-Hintergrundsstandorten ist Modellqualität im Bereich des Standortes Flums für PM_{10} als befriedigend-gut und für NO_2 als gut einschätzen.
- Vor allem bei tiefen NO_2 Messwerten überschätzt das Modell tendenziell.

Hinweis: Die Modellauflösung ist im Hektarraster. Dies bedeutet, dass insbesondere an strassennahen Standorten lokal auch deutlich höhere NO_2 -Werte möglich sind.

4.4 Luftschadstoffe und Emissionsquellen

4.4.1 Schadstoffausbreitung

Abb. 15 zeigt die zuvor betrachteten Luftschadstoffe am Standort Flums ARA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in Windrosenformat. Während für NO_2 die Hauptquellen im Umfeld der Messstation ARA liegen (Hintergrund und benachbarte Strassen), gibt es für PM_{10} mehrere Windsituationen, bei denen hohe Konzentrationen auftreten. Einen auffälligen Beitrag zur PM_{10} Konzentration liefert auch die Flumroc AG (Wind aus Südost). Für SO_2 ist ausschliesslich die Punktquelle Flumroc AG im Südosten erkennbar.

Hinweis: Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten im Seetal bei Föhnepisoden (Wind aus SW) auf.

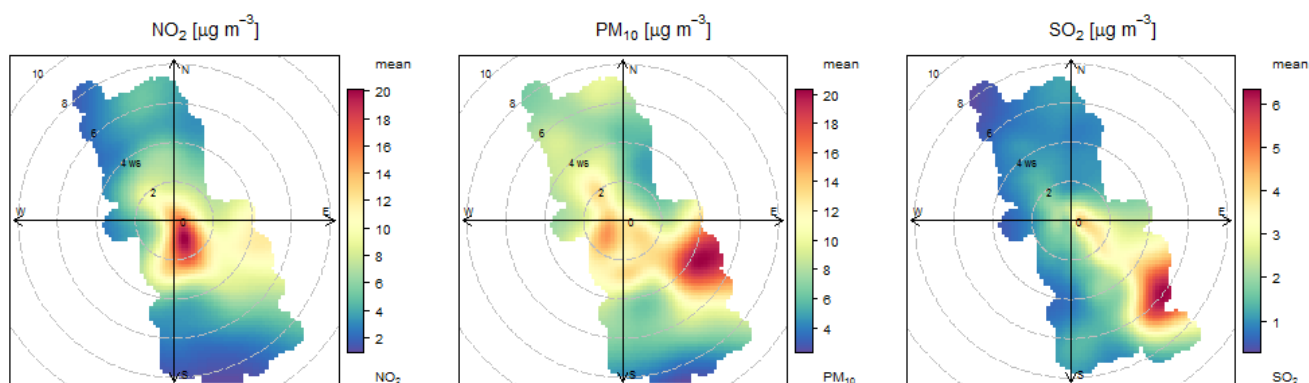


Abb. 15: Verschiedene Luftschadstoffkonzentrationen (mittlere 1h Mittelwerte, farbkodiert) am Standort Flums ARA in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung. Im Zentrum der Windrose entspricht die Windgeschwindigkeit Null.

4.4.2 Feinstaub in Partikelgrößenklassen

Innerhalb eines Messjahres (ELPI Messungen) liegen für Feinstaub auch Informationen zu den Partikelgrößenklassen vor (Aerodynamischer Partikeldurchmesser: 77nm, 130nm, 205nm, 316nm, 499nm, 793nm, 1262nm). Die Messdaten des ELPI wurden analog zu Abb. 15 analysiert, die Ergebnisse für sechs Feinstaubgrößenklassen sind in Abb. 16 dargestellt. Die kleinsten Feinstaubpartikel (<77 nm) stammen überwiegend aus der Umgebung der Messstation, die Verteilung ist ähnlich wie für NO₂ und die Quellen sind vermutlich Verkehrsemissionen. Die mittleren und grösseren Partikelfraktionen (>0.5 µm) stammen aus dem Umfeld der Messstation sowie aus süd- und südöstlicher Umgebung. Die Verteilung ist ähnlich wie für PM₁₀. Mögliche Schadstoffquellen sind die umliegenden Strassen, das Dorf sowie die Steinwolleproduktion.

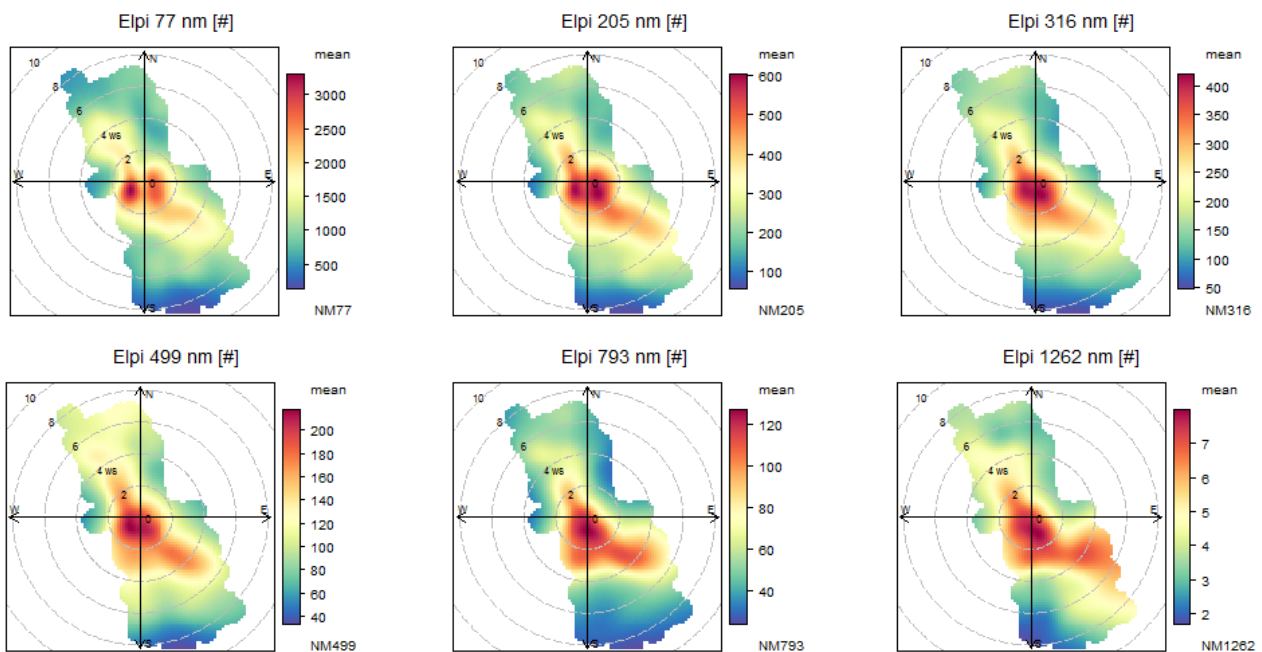


Abb. 16: Konzentrationen verschiedener Partikelgrößenklassen (mittlere 1h Mittelwerte, farbkodiert) am Standort Flums ARA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung. Im Zentrum der Windrose entspricht die Windgeschwindigkeit Null.

4.4.3 Staubbiederschlagsmessungen

Die Steinwolleproduktion ist wesentliche Emissionsquelle in Flums. Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde auch überprüft, ob der Staubbiederschlag verhältnismässig zur Grösse der Industriezone ist und ob die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung eingehalten werden. Dafür wurden Staubbiederschlagsmessungen mit der Bergerhoffmethode durchgeführt.

Die Staubbiederschlagsmessungen und teilweise deren Inhaltsstoffe wurden an drei Standorten (ARA, Schulhaus und Altersheim) in vierwöchigem Takt gemessen. Die Auswahl der Standorte erfolgte nach dem

Prinzip eines Abstand-Versuches in verschiedenen Windrichtungen. Die Messungen wurden zwischen Juli 2015 und Januar 2016 durchgeführt. Zudem wurde je ein zwei bzw. dreiwöchiges Intervall „mit“ und „ohne“ Betrieb der Flumroc AG betrachtet (Winterpause der Produktion rund um das Jahresende und Neujahr 2015/2016 und Vergleichsintervall Mitte Januar 2016 bei ähnlichen Wetterbedingungen). Für die Stichproben „mit“ und „ohne“ Betrieb wurden auch die Konzentrationen von drei Schwermetallen im Staubniederschlag bestimmt.

Messmethode nach Bergerhoff

Auf einer 2.5 Meter hohen Metallstange mit einem aufgesetzten Metallkorb wird ein Behälter aus Kunststoff exponiert. Die Probenahme erfolgt üblicherweise alle vier Wochen. Es werden Doppelbestimmungen durchgeführt. In den Behältern wird alles aufgefangen was hineinfällt. Neben Regenwasser mit ausgewaschenem Staub kommt es auch zu trockener Deposition von Partikeln. Fremdkörper wie Insekten oder Blätter werden vor dem Eindampfen des Wassers entfernt. Die trockene Staubmasse wird ausgewogen. Anschliessend wird aus dem Rückstand die Schwermetallkonzentration mittels Aufschlussverfahren (Rückstand mit Salpetersäure in Lösung gebraucht) bestimmt. Es gelten die Grenzwerte gemäss LRV.

Resultate

Generelles zu den nachfolgenden Abbildungen

- Die Daten wurden nach Messort gruppiert.
- Gleichzeitige Messperioden sind in derselben Farbe dargestellt.
- Die Säulenhöhe entspricht dem Mittelwert der Doppelbestimmung.
- Die beiden Einzelmesswerte sind als Spannweitebalken in/über den einzelnen Säulen eingezeichnet. Fehlen die Spannweitebalken ist nur ein Messwert vorhanden.
- Die braune Fläche stellt die Überschreitung des Jahresmittelwerts dar.

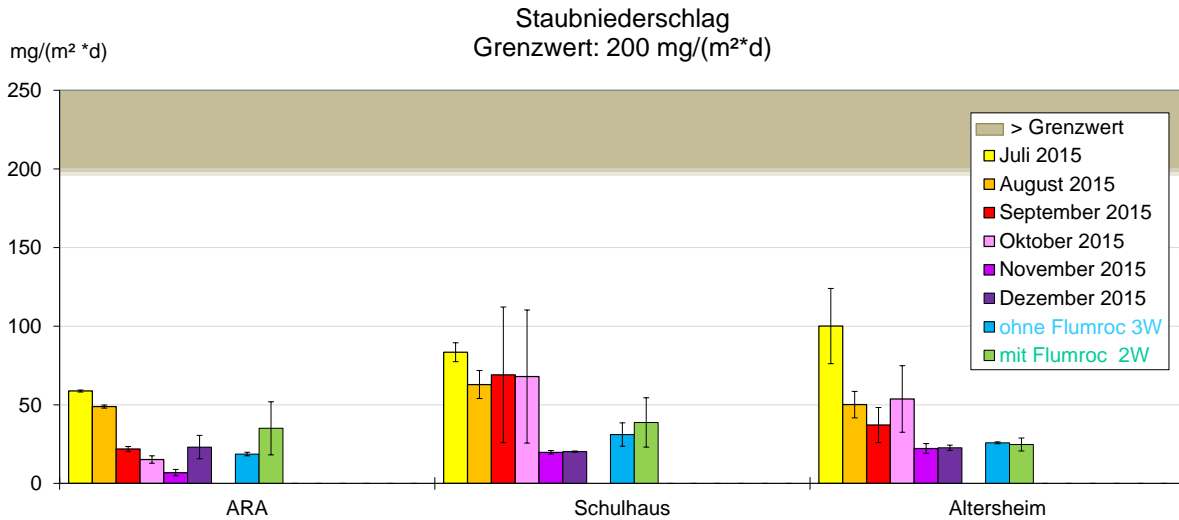


Abb. 17: Detailresultate der Staubniederschlagsmenge in Flums je Messort in Milligramm pro Quadratmeter und Tag.

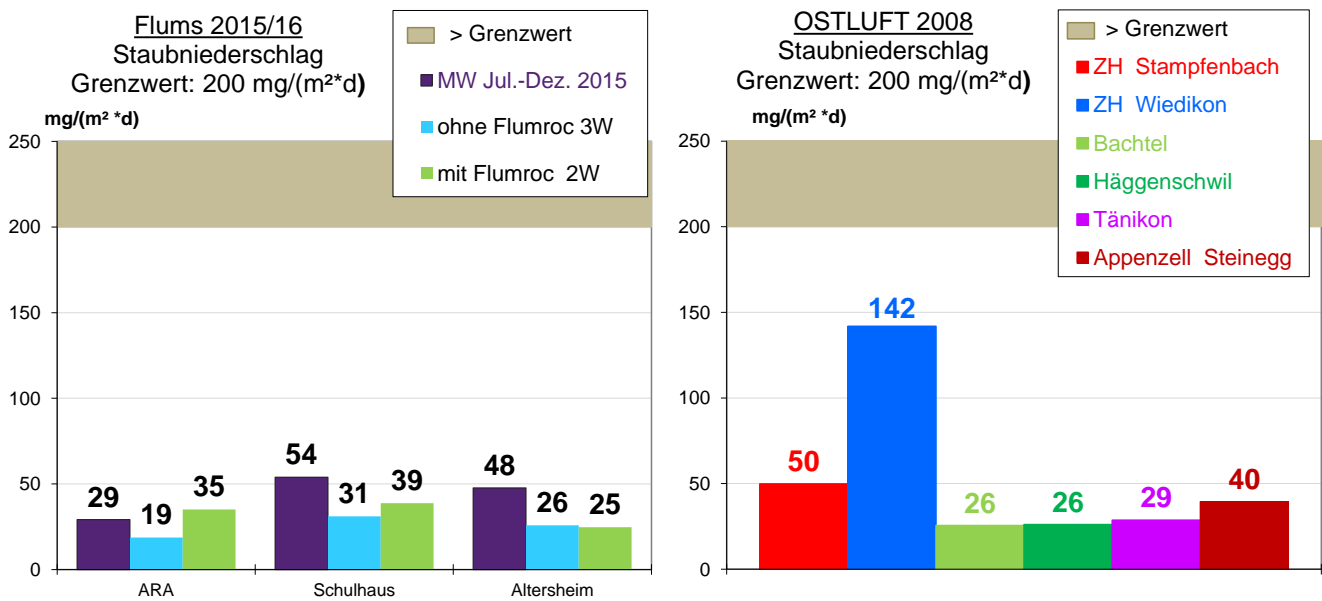


Abb. 18: Detailresultate der Staubniederschlagsmenge in Flums je Messort in Milligramm pro Quadratmeter und Tag und Vergleichswerte anderer Ostluft Messorte (Die hohen Werte in ZH Wiedikon sind durch Schienenabrieb einer nahen Bahnlinie bedingt).

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb.17 und Abb.18 dargestellt:

- Der LRV-Grenzwert wird an allen Messorten in Flums klar unterschritten.
- Es gibt jahreszeitliche Unterschiede, im Sommer sind die Konzentrationen an allen Standorten höher als im Winter. Ein solcher Jahresgang entspricht den Erwartungen (Sommer trocken und hohe Werte, Winter feucht und wenig Staubaufwirbelung).
- Die Standorte im Dorf, Schulhaus und Altersheim, weisen im Mittel etwas höhere Staubkonzentrationen als der Standort ARA auf.

- In der Periode „mit“ Betrieb wurde geringfügig mehr Staub gemessen als „ohne“, die Unterschiede liegen jedoch im Rahmen der Messunsicherheiten.
- Im Vergleich zu anderen ländlichen Stationen sind die Staubkonzentrationen in Flums im ähnlichen Bereich und liegen deutlich unter den Grenzwerten.

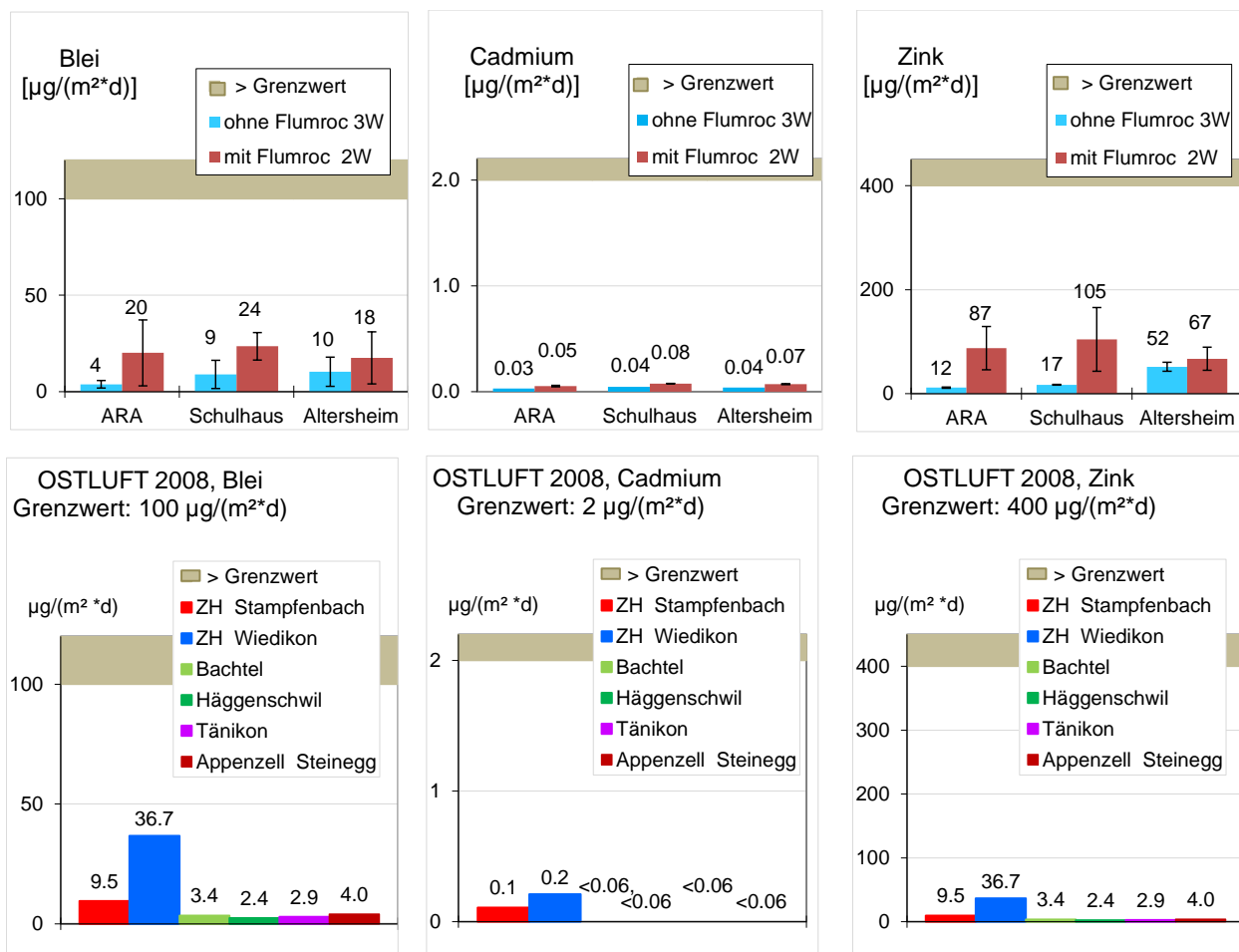


Abb. 19: Detailresultate für Pb, Cd und Zn in Staubniederschlag in Flums (**oben**) während der zwei kurzen Messperioden „mit“ und „ohne“ Betrieb der Flumroc AG und (**unten**) Vergleichswerte anderer Ostluft Messorte im Jahresmittel.

Die Schwermetallkonzentrationen des Staubes wurden stichprobenartig für zwei Perioden „mit“ und „ohne“ Betrieb untersucht. Abb. 19 zeigt die Ergebnisse, zum Vergleich sind weitere Messdaten aus dem OSTLUFT-Gebiet dargestellt. Es muss beachtet werden, dass es sich bei den Messungen in Flums nur um einmalige Stichproben handelt, während die OSTLUFT-Standorte über ein Jahr beprobt wurden. Auch die Spannweite zwischen den beiden Einzelmessungen ist meist relativ gross, entsprechend hoch ist die Messunsicherheit. Im Vergleich zu den anderen ländlichen Ostschweizer Standorten sind die Konzentrationen von Blei und Zink an den Standorten in Flums generell aber insbesondere in den Phasen „mit“ Betrieb etwas erhöht, sie unterschreiten jedoch die LRV-Immissionsgrenzwerte deutlich. Die Cadmiumkonzentrationen liegen im

Bereich der Nachweisgrenze. Die Thalliumkonzentrationen im Staubbiederschlag in Flums lagen unter der Nachweisgrenze, ebenso bei der OSTLUFT-Erhebung.

4.4.4 Weitere Feinstaubanalytik (Firma Particle Vision)

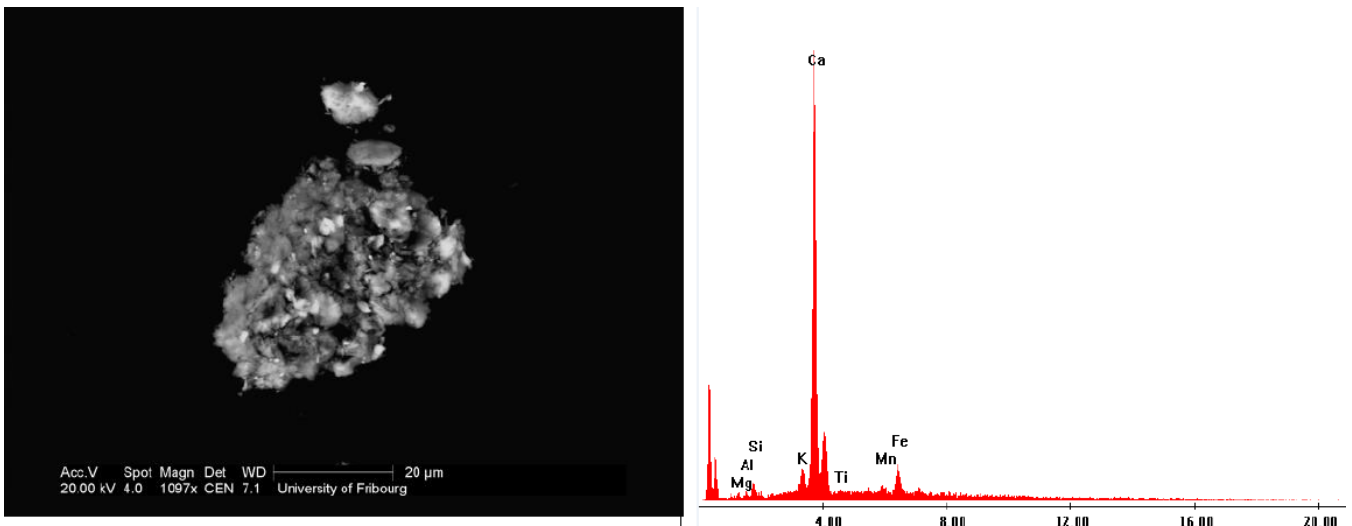


Abb. 20: Partikel aus einem kalkigen/tonigen Gestein vom Standort Schulhaus und chemische Zusammensetzung.

Parallel zu den zwischen Dez. 2015 und Jan. 2016 stattgefundenen Staubbiederschlagsmessungen „mit“ und „ohne“ Betrieb wurden weitere Partikelanalysen durch die Firma Particle Vision durchgeführt (separate Berichterstattung liegt vor). An den Messstandorten ARA und Schulhaus wurden Sigma-2- und Minivolumesamplernerproben genommen und auf ihre chemische Zusammensetzung evaluiert. Die Analytik umfasste eine EC/OC Bestimmung (Elementarer Kohlenstoff/ Organischer Kohlenstoff, Methode: Thermo-Optische Transmission) und Einzelpartikelanalytik der Minivolumesamplernerproben und eine Lichtmikroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie der Sigma-2-Proben.

Die Ergebnisse von Particle Vision lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Generell liegt eine höhere Feinstaubbelegung der Filter während der Messperiode „mit“ Betrieb vor.
- In der Periode „mit“ Betrieb traten Dolomit- und Calcium-Spuren auf (Hinweis auf Emissionen von Kalkstein aus der Produktion)
- Gesteinsproben zeigten, dass das Sediment, auf welchem Flums steht aus sehr inhomogenem kalkigen/tonigen Gestein besteht. Dies bedeutet, dass calciumhaltige Partikel auch z.T. natürlichen Ursprungs sind (siehe Abb. 20).

- Schwermetallhaltige Partikel mit Zink und Blei wurden in allen Proben gefunden. Die beiden Schwermetalle traten in den Messperioden „mit“ und „ohne“ Betrieb etwa gleich häufig auf.
- Die EC/OC Partikel der Periode „ohne“ Betrieb entsprechen morphologisch Verkehrs- oder Holzrusspartikeln.
- Die EC/OC Partikel der Periode „mit“ Betrieb zeigen Ähnlichkeit mit Partikeln, welche aus Hochtemperaturprozessen (Furnace processes) bekannt sind
- Die Mikroskopierergebnisse weisen unabhängig auf Partikel aus einer Hochtemperaturquelle hin.

4.4.5 Immissionsgutachten Flums/Seeztal

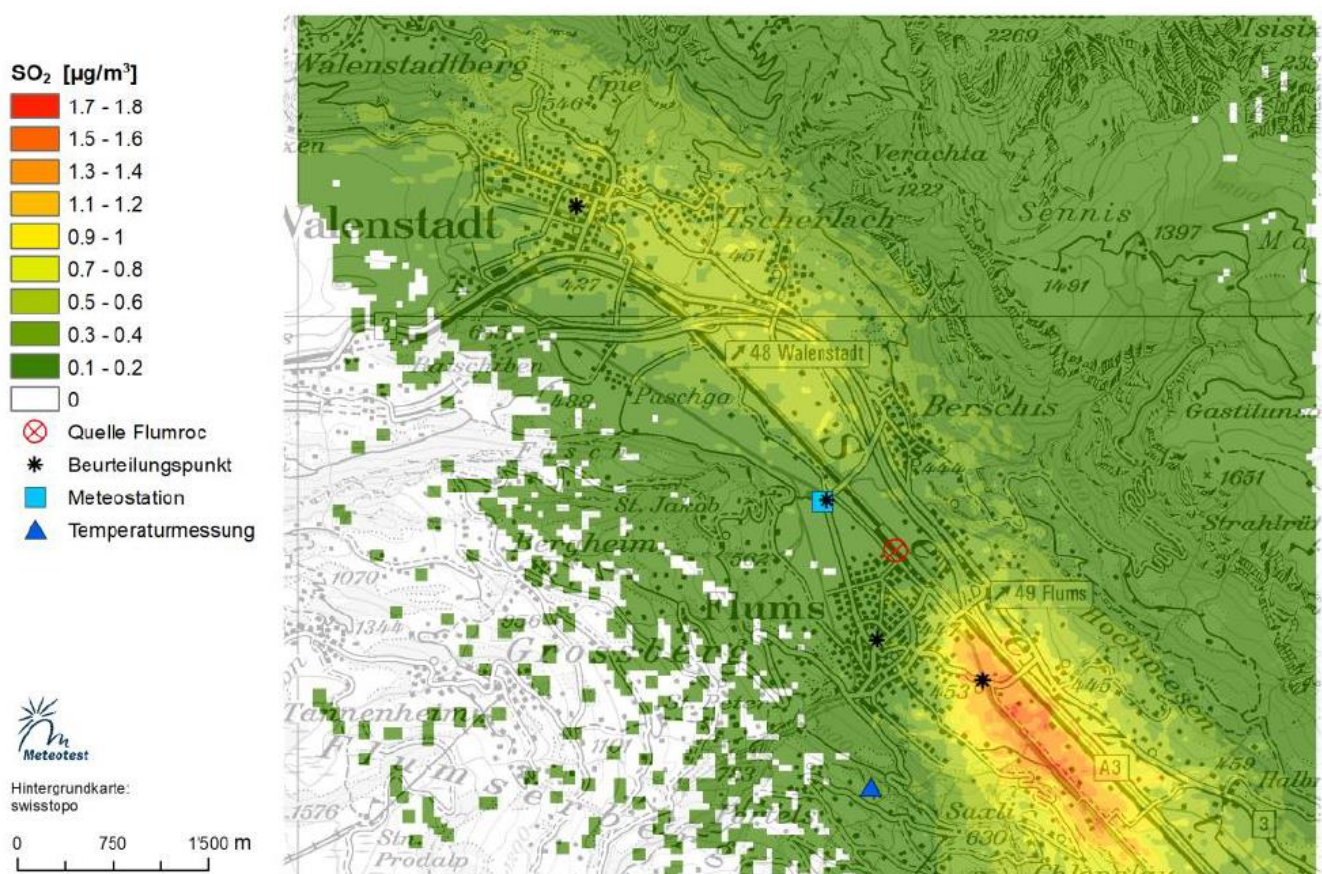


Abb. 21: Modellergebnis für die SO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) .

Um den Einfluss der Steinwolleproduktion auf die Luftbelastung im Seeztal umfassend abschätzen zu können, wurde ein Immissionsgutachten bei der Firma Meteotest in Auftrag gestellt (separate Berichterstattung liegt vor). Im Gutachten wurde die Ausbreitung der SO₂-, NO_x- und PM₁₀-Emissionen modelliert und analysiert, die Immissionsberechnungen wurden mit dem Modell AUSTAL2000 durchgeführt. Die für die Modellierung

verwendeten Schadstofffrachten basieren auf den Messwerten von Emissionsmessungen, die am Hauptkamin regelmässig durchgeführt wurden.

Die Resultate der Modellierung wurden in Karten dargestellt, die den Zuwachs der Schadstoffkonzentration, als Jahresmittelwerte wiedergeben. Abb. 21 zeigt exemplarisch die Karte für SO₂. Aufgrund der meteorologischen Ausbreitungssituation treten die höchsten Konzentrationen entlang der Autobahn auf. Das Dorfzentrum im Süden aber auch der Standort ARA im Norden werden nur marginal von der Abluffahne getroffen. Leicht erhöhte Konzentrationen treten nordwestlich der Anlage Richtung Walenstadt auf.

Der Bericht kommt zu dem Ergebnis, dass die Emissionen der Steinwolleproduktion im Jahresmittel im Verhältnis zu der im Seeztal vorherrschenden Hintergrundbelastung bei NO_x und PM₁₀ keine substantielle Zusatzbelastung für die Luftqualität darstellen. Kurzzeitig können für NO_x und PM₁₀ unter Annahme der allgemeinen Modellunsicherheiten hohe Konzentrationen nahe der Grenzwerte auftreten. Für SO₂ können unter Annahme der allgemeinen Modellunsicherheiten auch kurzzeitig Konzentrationen über den Grenzwerten auftreten. Die SO₂-Emissionen ergeben bei konstanter Emissionsrate auf das Jahr summiert eine Fracht von rund 290 t/a. Damit macht die Flumroc AG ca. 4 % am Total der Schweizer SO₂-Emissionen aus (Vergleich mit Emissionsinventar des Bundesamts für Umwelt, Submission 2017, NFR-Tabelle Jahr 2015).

Hinweis: Die Modellierung berücksichtigt den Schadstoffausstoss in 60 m Höhe und die resultierenden Schadstoffkonzentrationen am Boden. Es ist nicht auszuschliessend, dass sich Schadstoffe während Inversionswetterlagen in höheren Lagen innerhalb einer horizontalen Schichtung anreichern. Wie stark die Immissionsbelastung auf Orte am Talrand innerhalb einer solchen Schichtung ist, wurde nicht untersucht. Da das Seeztal relativ gut durchlüftet ist, sollten solche Situationen jedoch nicht allzu häufig auftreten.

4.5 Jahrgang und Inversionen

Im Herbst und Winter kommt es in Gebirgstälern aufgrund ihrer Topographie oft zu Inversionswetterlagen. Bei Inversionen ist die vertikale Durchmischung der Luftschichten durch Turbulenz gering und es entsteht eine stabile Schichtung bei der die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Da es keinen Luftaustausch zwischen den Luftschichten gibt, kommt es zur Akkumulierung von Schadstoffen in bodennahen Schichten (Smog).

Zur Erfassung der Inversionswetterlagen (Höhe und Häufigkeit) im Seeztal, wurden am bewaldeten Nordhang im Westen von Flums kontinuierliche Temperaturmessungen mit Temperatursensoren (siehe Abb. 2) durchgeführt. Dazu wurden analog zu früheren Projekten (z.B. Appenzell, Ebnet Kappel) sechs Sensoren in unterschiedlichen Höhen zwischen 453 m und 652 m ü.M. montiert. Diese Temperaturmessungen erlauben eine Inversionserfassung in fünf Schichten. Die Messdaten der sechs Temperatursensoren wurden zur Klassierung von Inversionswetterlagen herangezogen. Eine Inversion lag vor bei einem Temperaturunterschied von >1°C je 100 m. Nachfolgend beschreibt die Anzahl der Inversionen (AnzInv) die

Inversionsanzahl innerhalb der fünf möglichen Luftschichten, der gesamte Temperaturunterschied der Inversionsschichten ist als Inversionsstärke wiedergegeben (InvStärke).

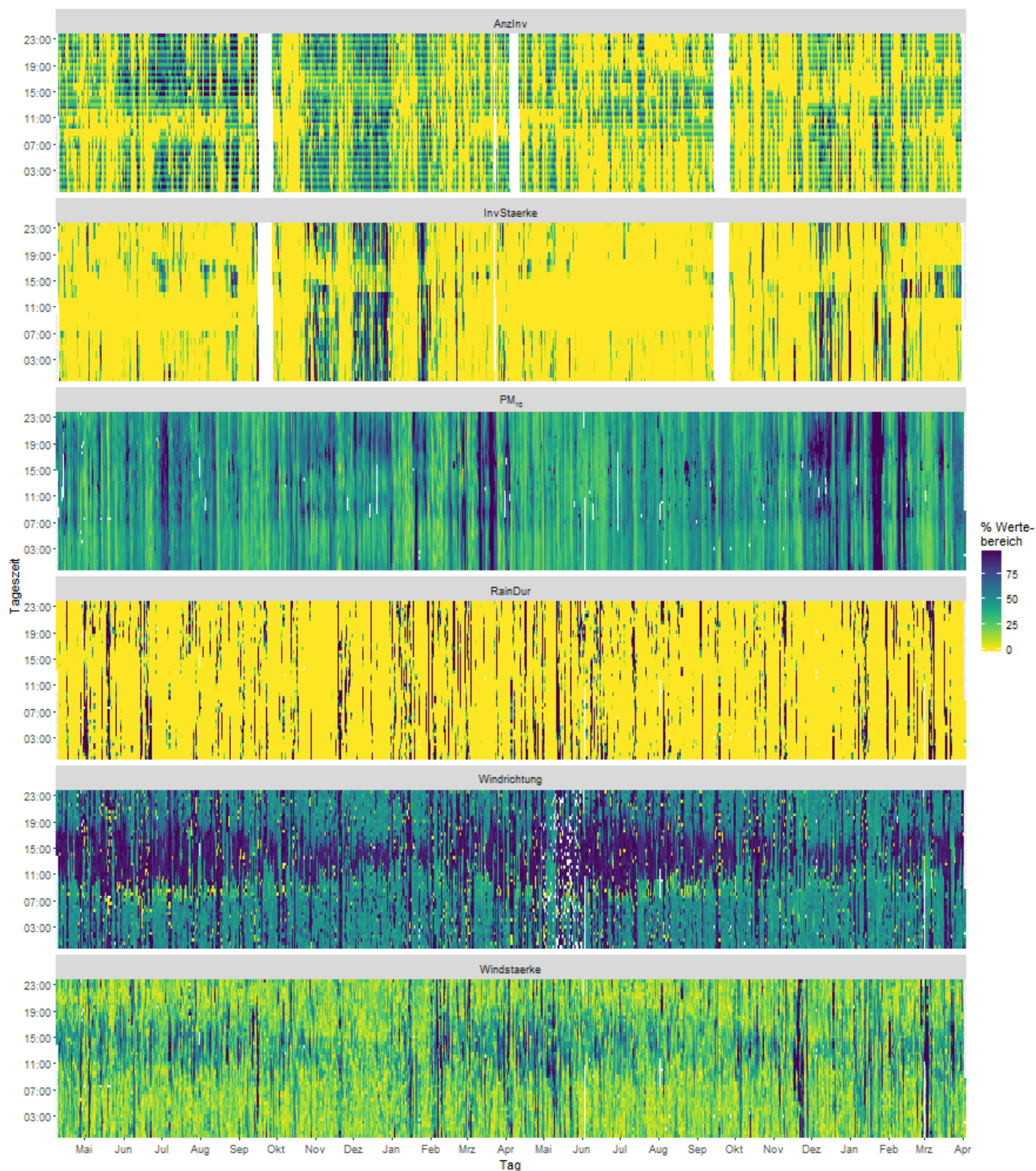


Abb. 22: Tagesgang PM10, Meteoparameter und Inversionsmarker im Zeitraum April 2015 bis April 2017 am Standort Flums ARA, alle Daten zum jeweiligen Maximalwert normiert (0-100%).

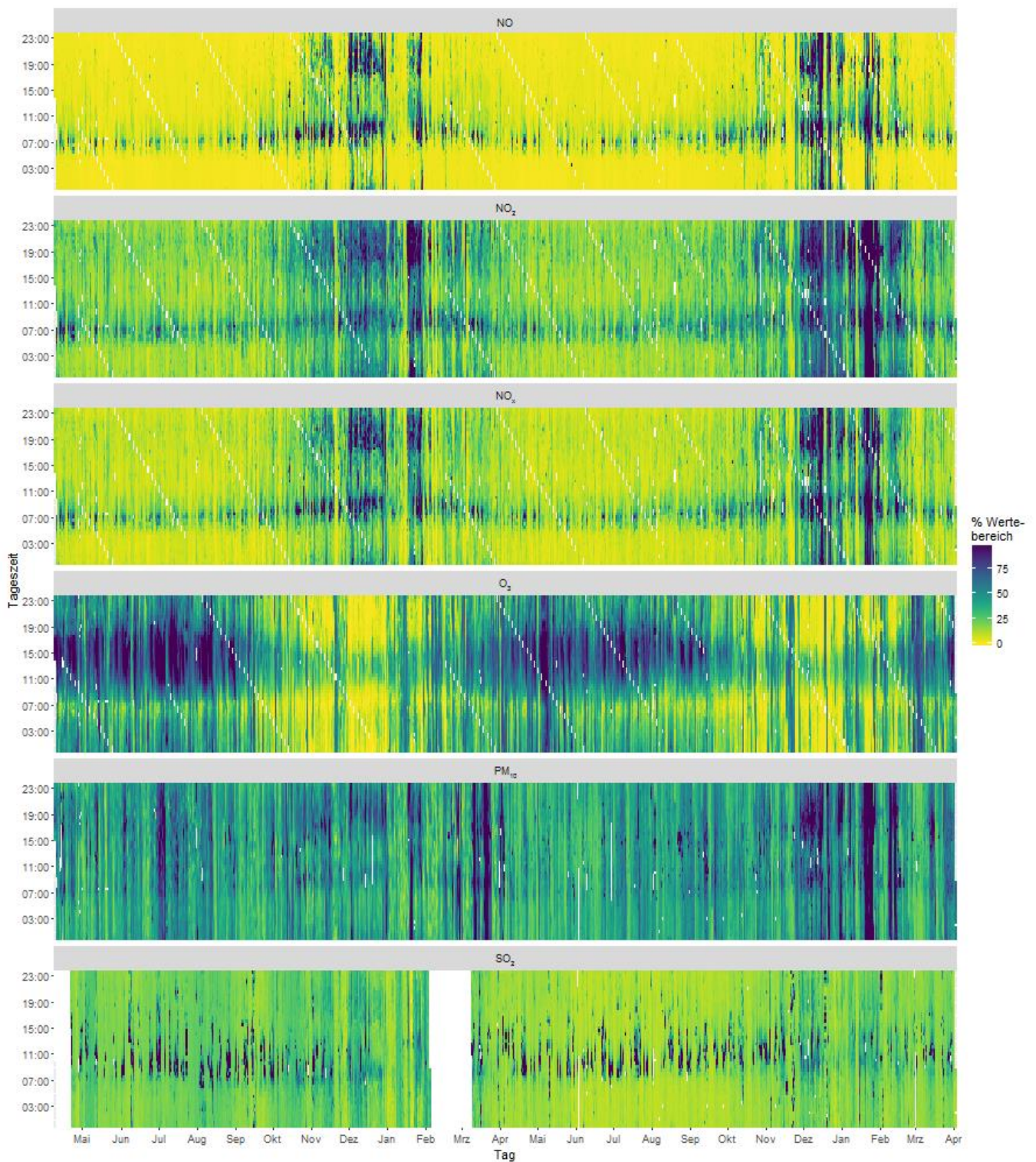


Abb. 23: Tagesgang verschiedener Schadstoffe im Zeitraum April 2015 bis April 2017 am Standort Flums ARA, alle Daten normiert (0-100%). Weisse Felder: keine Daten (Intervalle automatischer Kalibration in ca. 71 stündigem Takt).

Die Lage eines Temperatursensors wurde im Frühjahr 2016 verändert, weil der Kaltluftabfluss eines nahen Bachtobels merklichen Einfluss auf die Messungen hatte. Der Wechsel ist in Abb. 22 zu erahnen, danach ist die Inversionsanzahl eher geringer. Für die nachfolgenden Auswertungen hat die Verschiebung keinen grossen Einfluss.

Abb. 22 zeigt die PM₁₀-Konzentrationen, die meteorologischen Parameter Regendauer (RainDur), Windrichtung und Windstärke sowie AnzInv und InvStärke über den gesamten Messzeitraum in Abhängigkeit von der Tageszeit. Die Daten sind jeweils normiert auf ihren Maximalwert. Insgesamt zeigt sich, dass es in Flums eher weniger Inversionswetterbedingungen gab, als an früheren OSTLUFT-Projektstandorten (z.B. Appenzell, Rheintal). Grund dafür ist die gute Durchlüftung des Seetals. Praktisch täglich gibt es Winderichtungsänderungen und somit sowohl Phasen mit Nordostwind als auch mit Südwind. Auch die Windgeschwindigkeit erhöht sich meist um die Mittagszeit und löst Inversionen auf.

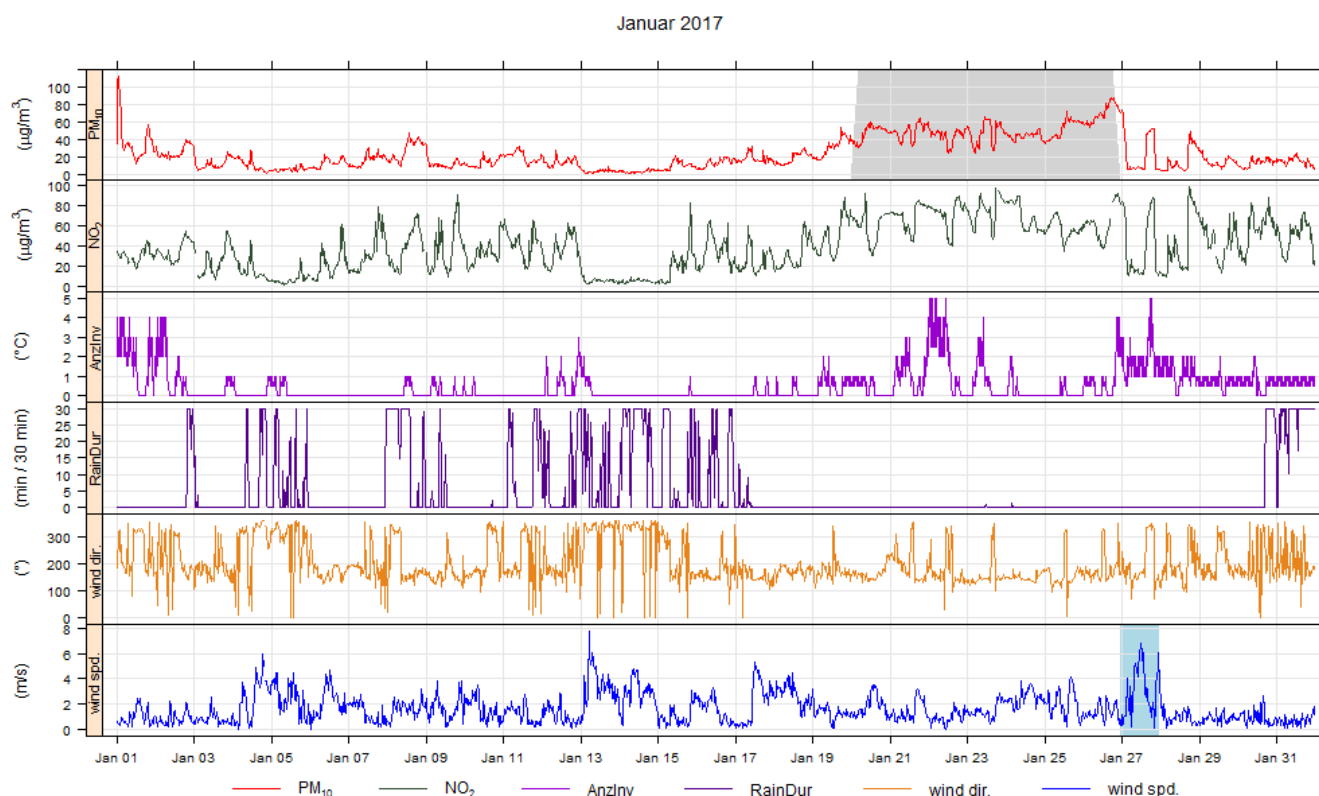


Abb. 24: Verlauf verschiedener Schadstoffe, Meteoparameter und Inversionsmarker im Januar 2017 (Halbstundenmittelwerte). Grau: Phase mit hohen Feinstaubbelastungen. Blau: Phase mit hohen Windgeschwindigkeiten (Föhnwind).

Abb. 23 zeigt analog zu Abb. 22 die Belastungssituation verschiedener Leitschadstoffe (NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀ und SO₂) über den gesamten Messzeitraum in Abhängigkeit von der Tageszeit. Die Daten sind jeweils normiert auf ihren Maximalwert. Die starken Belastungsphasen im Winter sind häufig durch Inversionswetterlagen bedingt. Für die Stickoxide ist deutlich die Belastung zu den Hauptverkehrszeiten zu erkennen (Morgenpeak) und der Sommer-/ Winterunterschied ist stark ausgeprägt. O₃ erreicht in den Sommermonaten die höchsten Konzentrationen, im Winter und während der morgendlichen

Hauptverkehrszeit (Abbau von Ozon durch Stickoxide) sind die Konzentrationen niedrig. Für PM10 sind die Belastungen ganzjährig ausgeglichener. Der Morgenpeak ist schwach erkennbar, starke Belastungen treten vereinzelt im Winter und im Frühjahr auf. SO₂ wurde im gesamten Messzeitraum regelmässig gemessen, die höchsten Belastungen traten zwischen Morgen und Nachmittag auf, der Sommer-/ Winterunterschied ist gering.

Die wenigen längeren Perioden mit Inversionswetterlagen traten in Flums im November - Dezember 2015, Ende Januar 2016, im Dezember 2016 und Ende Januar 2017 auf. Zeitgleich stiegen die NO₂- und PM10-Belastungen stark an. Die Inversionsphase mit den höchsten NO₂ und PM10 Konzentrationen war im Januar 2017.

Abb. 24 zeigt den Verlauf der PM10 und NO₂ Konzentrationen, der Niederschlagsmenge, der Windrichtung und der Inversionsanzahl im Januar 2017 in 30 min Auflösung. Die Inversionslage Ende des Monats (20.-27. Januar) zeigt eine erhöhte NO₂ und PM10-Belastung, es gab praktisch keinen Niederschlag und relativ stabilen schwachen Südostwind. In diesem Zeitfenster wurde der Grenzwert (Tagesmittel 50 µg/m³) für PM10 zweimal überschritten. Im Laufe des 27. Januars wurden wieder höhere Windgeschwindigkeiten erreicht und die PM10 Belastung nahm rapide ab.

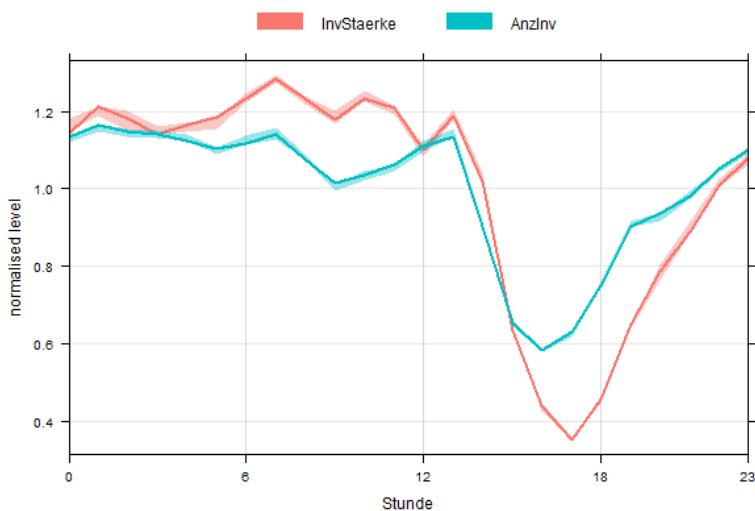


Abb. 25: Normierter Tagesgang von Inversionsanzahl und Inversionsstärke im Winter (Dez.-Feb.).

Abb. 25 zeigt den normierten Tagesgang im Winter (Dezember, Januar, Februar) der Inversionsanzahl und Inversionsstärke. Inversionen treten meist morgens, abends und nachts auf. Um die Mittags- und Nachmittagszeit ist die Sonneneinstrahlung stark genug um Aufwind zu erzeugen, zudem setzt der Nordwind ein, die stabile Schichtung löst sich auf.