

Belastung durch ultrafeine Partikel im Seeztal 2021/2022



Schlussbericht 2022

Abkürzungsverzeichnis

LDSA	Lung-deposited surface area
LRV	Eidgenössische Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142.1)
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm (Schadstoff) pro Kubikmeter (Luft)
SO ₂	Schwefeldioxid
UFP	Ultrafeine Partikel

Impressum

Herausgeber:	OSTLUFT – Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein
Projektteam:	Hanna Herich, Dominik Noger, Susanne Schlatter
Auswertungen:	Hanna Herich, Susanne Schlatter
Kontakt:	OSTLUFT, sekretariat@ostluft.ch
Titelbild:	Blick von Walenstadtberg auf Flums im Seeztal, 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	6
3	Rückblick	6
3.1	Windsituation	7
4	Ausgangslage 2021/2022	8
5	Methodik	9
5.1	SO ₂ Messungen 2021/ 22	9
5.1.1	Passivsammler	9
5.1.2	Kontinuierliches SO ₂ Messgerät	10
5.2	UFP Messungen 2021/ 22	10
5.3	Weitere Messgrößen	10
6	Ergebnisse	11
6.1	Räumliche Belastung durch SO ₂	11
6.2	Tagesverlauf der Belastung durch SO ₂	14
6.3	Belastung durch UFP	15
6.4	Zusätzliche Belastung durch UFP	19
7	Ausblick - Feinstaubdrohne	20
8	Anhang	21

1 Zusammenfassung

Ultrafeine Partikel (UFP) sind die kleinste Fraktion des Feinstaubes. Lufthygienisch sind sie in den letzten Jahren wegen ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung in den Fokus gerückt. Deshalb ist gemäss Vorsorgeprinzip eine Regulierung und Minimierung angebracht. Eine normierte Messmethode oder einen Immissionsgrenzwert gibt es zurzeit nicht. In diesem Kontext empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ein Monitoring der Messgrösse UFP.

Zwischen April 2015 und April 2017 führte OSTLUFT in der Region Flums umfassende Luftqualitätsmessungen durch. Die Auswertungen sind im OSTLUFT-Jahresbericht 2017 publiziert. Einerseits wurde festgestellt, dass die durchschnittliche Luftqualität in der Region Flums ähnlich oder sogar besser ist, als bei vergleichbaren ländlichen Siedlungs- oder Hintergrundstandorten. Dies lässt sich auf die gute Durchlüftung im Seeztal zurückführen. Andererseits konnten die Emissionen der Steinwolleproduktion als industrielle Punktquelle in einen direkten Zusammenhang mit den Immissionsmessungen gebracht werden. So traten insbesondere bei den Schadstoffen Schwefeldioxid (SO₂) und Feinstaubpartikel signifikante kurzzeitige Immissionsspitzen auf.

Aufbauend auf diesen Messungen, führte OSTLUFT zwischen Juli 2021 und Juni 2022 ergänzende Messungen für SO₂ und Feinstaubpartikel, mit Fokus auf UFP, durch. Im Zentrum standen dabei die Verteilung der SO₂- und UFP-Konzentrationen im gesamten Seeztal sowie als Höhenprofil bei Walenstadt / Walenstadtberg. Zudem wurden die im OSTLUFT-Jahresbericht 2017 ausgewiesenen Zusatzbelastungsprognosen für Talboden und Hanglage messtechnisch überprüft.

Ergebnisse:

1. Die SO₂-Belastung im Seeztal zeigt einen deutlichen Jahresgang. Die höchsten Konzentrationen werden im Frühling und Sommer erreicht, während der Herbst und Winter weniger stark belastet sind.
2. Die höchsten SO₂-Belastungen im Seeztal treten im Talboden südöstlich von Flums auf. Hier beträgt die Zusatzbelastung im Jahresmittel 1-2 µg/m³. Die Tages- und Jahresmittel-Immissionsgrenzwerte für SO₂ von 100 µg/m³ respektive 30 µg/m³ werden jedoch durchgehend klar eingehalten. Die Zusatzbelastung im restlichen Seeztal sowie in Walenstadtberg beträgt im Jahresmittel maximal 1 µg/m³.
3. Eine Produktionspause der Industriepunktquelle kann direkt mit einer entsprechenden Abnahme der SO₂-Belastung in Zusammenhang gebracht werden. Dann ist die Konzentration im gesamten Seeztal ähnlich tief wie an einem typischen Schweizer Hintergrundstandort.

4. Die SO₂-Messungen bestätigen, dass die Aussagen des Immissionsgutachtens von 2017 zutreffend und plausibel sind. Die Prognose und der Messwert im Gebiet südöstlich von Flums stimmen sehr gut überein. In Richtung Nordwest ist der belastete Bereich geringfügig ausgedehnter als prognostiziert.
5. Die Belastung durch UFP wird während des Winterhalbjahres durch den Verkehr bestimmt. Der Einfluss der Punktquelle ist schwer nachzuweisen. Im Winterhalbjahr treten die höchsten UFP-Belastungen im nördlichen Teil von Flums auf, was auf den Einfluss der Autobahn zurückzuführen ist.
6. Ab Frühling steigt während Phasen mit hohen SO₂-Konzentrationen auch die UFP-Belastung an. Die höchsten UFP-Belastungen im Seeztal treten dann südöstlich von Flums auf.
7. Die UFP-Konzentrationen in Walenstadtberg sind ganzjährig rund ein Drittel tiefer als im Tal.

Die vorliegenden ergänzenden Messungen der Schadstoffe SO₂ und UFP bestätigen die im OSTLUFT-Jahresbericht 2017 publizierten Aussagen und Erkenntnisse.

2 Ziele

In den letzten Jahren sind Ultrafeine Partikel (UFP), die kleinste Fraktion des Feinstaubes, lufthygienisch in den Fokus geraten. Obwohl es noch keine normierte Messmethode oder einen Immissionsgrenzwert gibt, ist aufgrund ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung gemäss Vorsorgeprinzip eine Regulierung und Minimierung angebracht (WHO, Leitlinien zur Luftqualität 2021). OSTLUFT hat in den letzten Jahren vereinzelt und punktuell UFP gemessen, beispielsweise am Flughafen Zürich in Kloten, publiziert im OSTLUFT Jahresbericht 2020. Die UFP-Messungen wurden nun um einen Hintergrundstandort mit Industriepunktquelle erweitert. Dazu fanden Messungen im Seeztal statt, da die dortige industrielle Punktquelle der Steinwolleproduktion in den Immissionsmessungen aufgrund ihres SO₂ Ausstosses eindeutig zugeordnet werden können.

3 Rückblick

Zwischen April 2015 und April 2017 wurden in der Region Flums umfassende Luftqualitätsmessungen durchgeführt und im OSTLUFT-Jahresbericht 2017 publiziert. Die Ergebnisse dieser Messungen waren:

1. Im Hinblick auf die Leitschadstoffe NO₂ und PM10 ist die Luftqualität in Flums ähnlich oder sogar besser als bei vergleichbaren ländlichen Siedlungs- oder Hintergrundstandorten. Dies war nicht unbedingt zu erwarten, da in Flums durch die Autobahn A3 sowie einer industriellen Punktquelle der Steinwolleproduktion grössere Emissionsquellen als bei vergleichbaren ländlichen Standorten vorhanden sind.
2. Die verhältnismässig geringe Luftbelastung ist der topografisch günstigen Lage des Seeztals geschuldet, denn eine regelmässige und gute Durchlüftung sorgt dafür, dass sich die Luftschadstoffe nicht aufkonzentrieren können.
3. Die Industrieemissionen der Steinwolleproduktion stellen eine bedeutende Luftschadstoffquelle im Seeztal dar und können mit den Immissionsmessungen direkt in Zusammenhang gebracht werden. Dies gilt insbesondere für die Quellindikatorsubstanz SO₂ und Feinstaubpartikel. Die Tages- und Jahresmittel-Immissionsgrenzwerte für SO₂ und Feinstaub werden jedoch durchgehend klar eingehalten.
4. Ein Immissionsgutachten zeigt, dass die Emissionen genügend verfrachtet und verdünnt werden, so dass diese im Verhältnis zu der im Seeztal vorherrschenden Hintergrundbelastung regional keine substantielle Zusatzbelastung für die Luftqualität darstellen. Die modellierten Belastungsprognosen für die SO₂-Immissionen betragen im Jahresmittel durchgehend weniger als 2 µg/m³. Die Tages- und Jahresmittel-Immissionsgrenzwerte für SO₂ betragen 100 respektive 30 µg/m³ und werden durchgehend klar eingehalten.

3.1 Windsituation

Die Messungen von 2015 und 2017 zeigten, dass die Windsituation in Flums talbedingt speziell ist. Die Ausrichtung des Seeztals verläuft von Nordwest nach Südost, durch diese Tallage ist der Wind kanalisiert. Dementsprechend weist die Windrose nur zwei Hauptwindrichtungen auf, Nordwest und Südost, Abb.1.

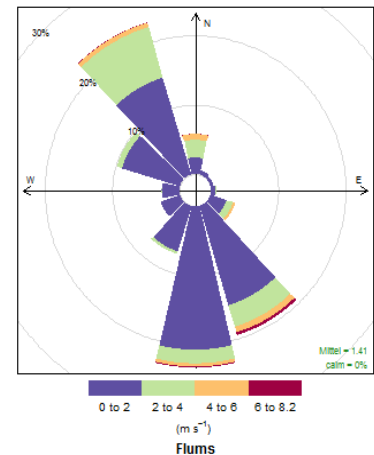


Abb. 1 Windrose

Abb. 2 (links) zeigt die Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit am Standort Flums ARA. Nachts weht der Wind meist aus Südost, tagsüber aus der entgegengesetzten Richtung. In Abb. 2 (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. Selten gibt es auch stürmischen Föhn aus Südost.

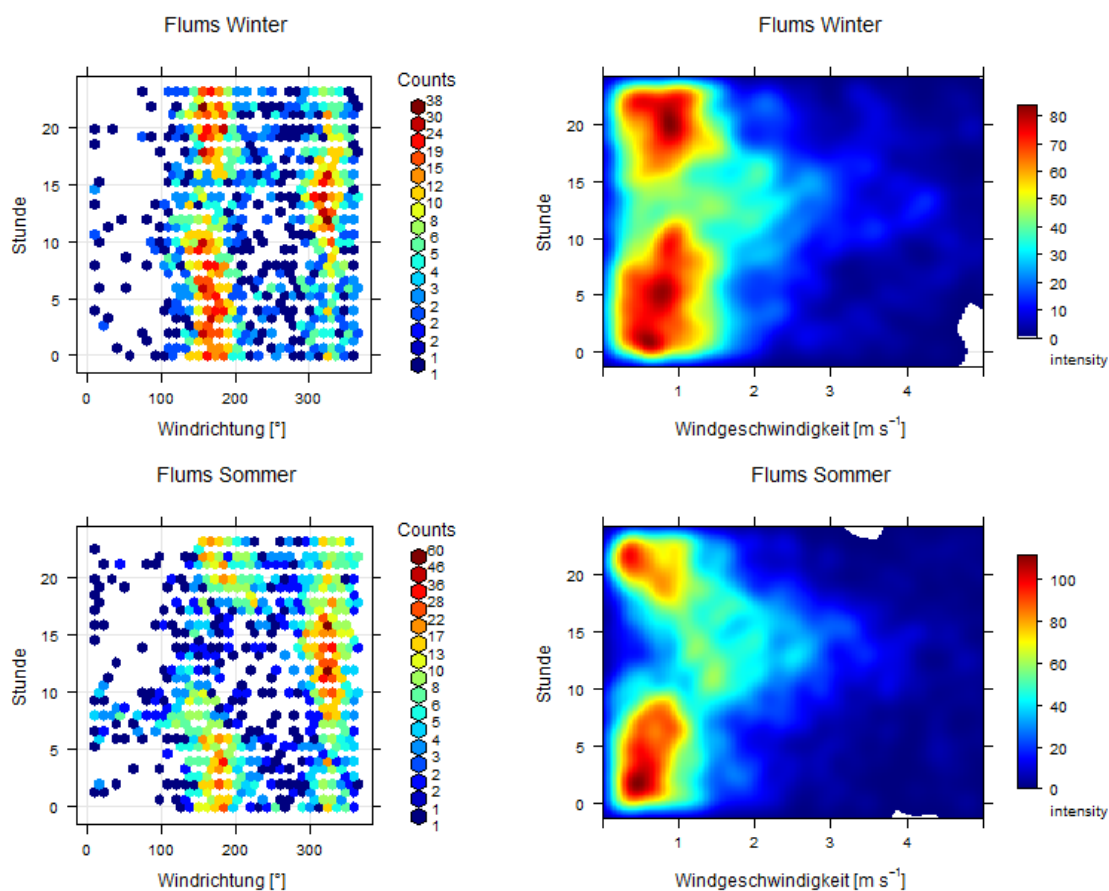


Abb. 2 Links: Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit, Winter (oben) und Sommer (unten). Rechts: Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit (farbkodiert interpolierte Intensität der Messdatenpunkte), Winter (oben) und Sommer (unten).

4 Ausgangslage 2021/2022

Wie oben zusammengefasst, konnten die früheren Messungen 2015-2017 die Industrieemissionen der Punktquelle (Steinwolleproduktion) mit den Immissionsmessungen (SO₂ und Feinstaubpartikel) in einen direkten Zusammenhang bringen.

SO₂ entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brenn- und Produktionsstoffe. Seit den 1990er Jahren sind die SO₂ Emissionen in Europa um über 95% Prozent gesunken. In der Schweiz gibt es heute nur noch wenige grosse Emittenten. Die Steinwolleproduktion im Flums trägt zu ca. 4% der Gesamtschweizerischen Emissionen bei und ist die einzige SO₂-Quelle im Seetal. Während der früheren Immissionsmessungen am Standort Flums ARA 2015-2017 korrelierten verschiedene Grössenklassen von Feinstaubpartikeln (Messverfahren Electrical Low Pressure Impactor (ELPI)) mit SO₂.

Auf den früheren Messungen aufbauend wurden zwischen Juli 2021 und Juni 2022 ergänzende Messungen für SO₂ und Feinstaubpartikel mit Fokus auf UFP durchgeführt. Dabei stand die Verteilung der SO₂ und UFP Konzentrationen im gesamten Seetal und als Höhenprofil bei Walenstadt / Walenstadtberg im Fokus. Es wurden nur Gebiete beprobt, die auch bewohnt und zugänglich sind. Auch die Belastungsprognosen des Immissionsgutachten von 2017, siehe Abb. 3, wurden für Talboden und Hanglage überprüft.

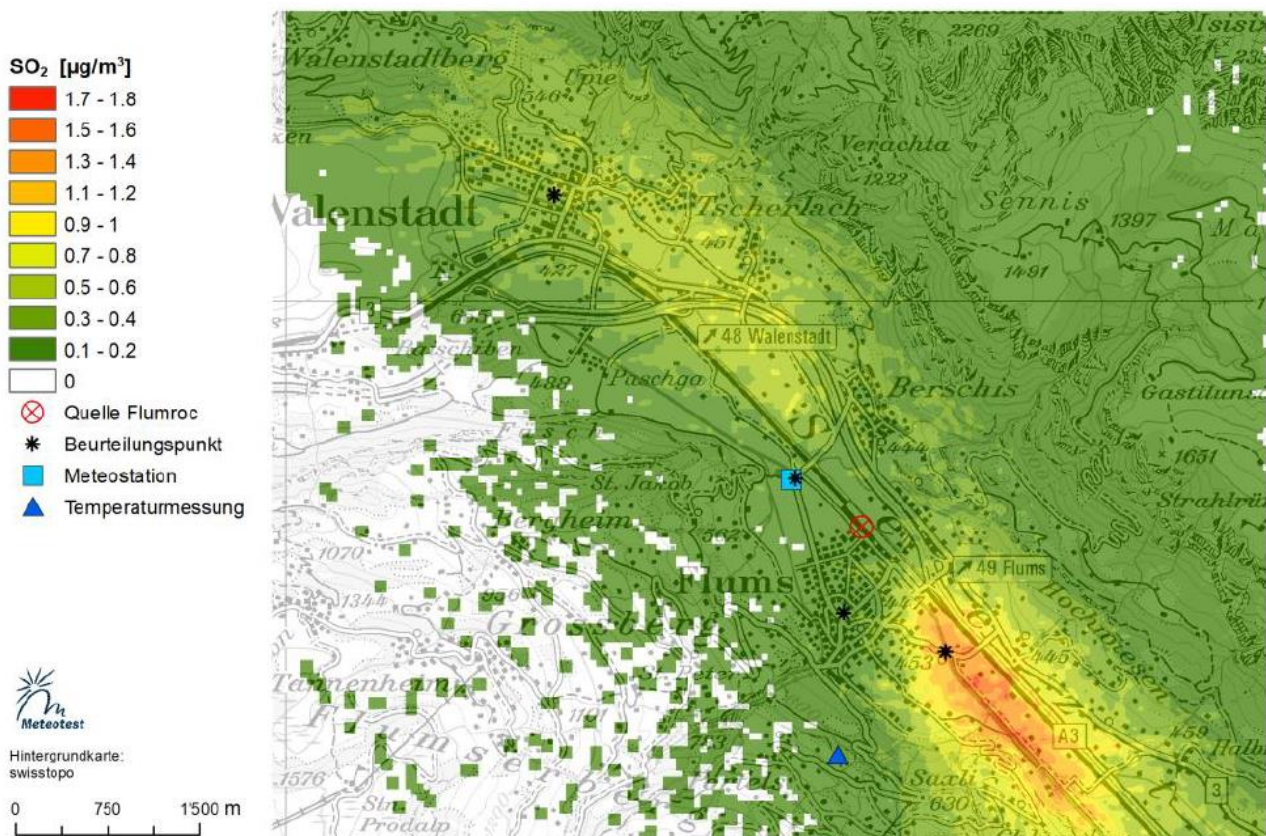


Abb. 3 Abbildung Seetal mit Belastungsprognosen für die SO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte), Meteotest 2017.

5 Methodik

5.1 SO₂ Messungen 2021/ 22

5.1.1 Passivsammler

Zwischen Juni 2021 und Juni 2022 wurde im Seeztal die SO₂-Belastung während zwölf Serien an verschiedenen Orten mittels Passivsammlern (PS), siehe Abb.4 und Anhang, bestimmt. Dabei wurden Diffusionssammler vom Typ FERM verwendet, die jeweils im Rhythmus von rund vier Wochen gewechselt wurden (mit Ausnahme einer Wechsepause im Juli/ August 2021). Dieses Messverfahren hat eine hohe Genauigkeit, ist aber gegenüber kontinuierlich messenden Messgeräten wesentlich einfacher und günstiger. Pro Serie waren zehn Sammler im Einsatz. Acht davon wurden über das gesamte Messjahr an den jeweils gleichen Standorten eingesetzt (Dauermessorte) und zwei Passivsammler wurden während der zwölf Messerien variabel an insgesamt sechs Standorten beprobt.



Abb. 4 SO₂ Passivsammler mit Wetterschutzhaube

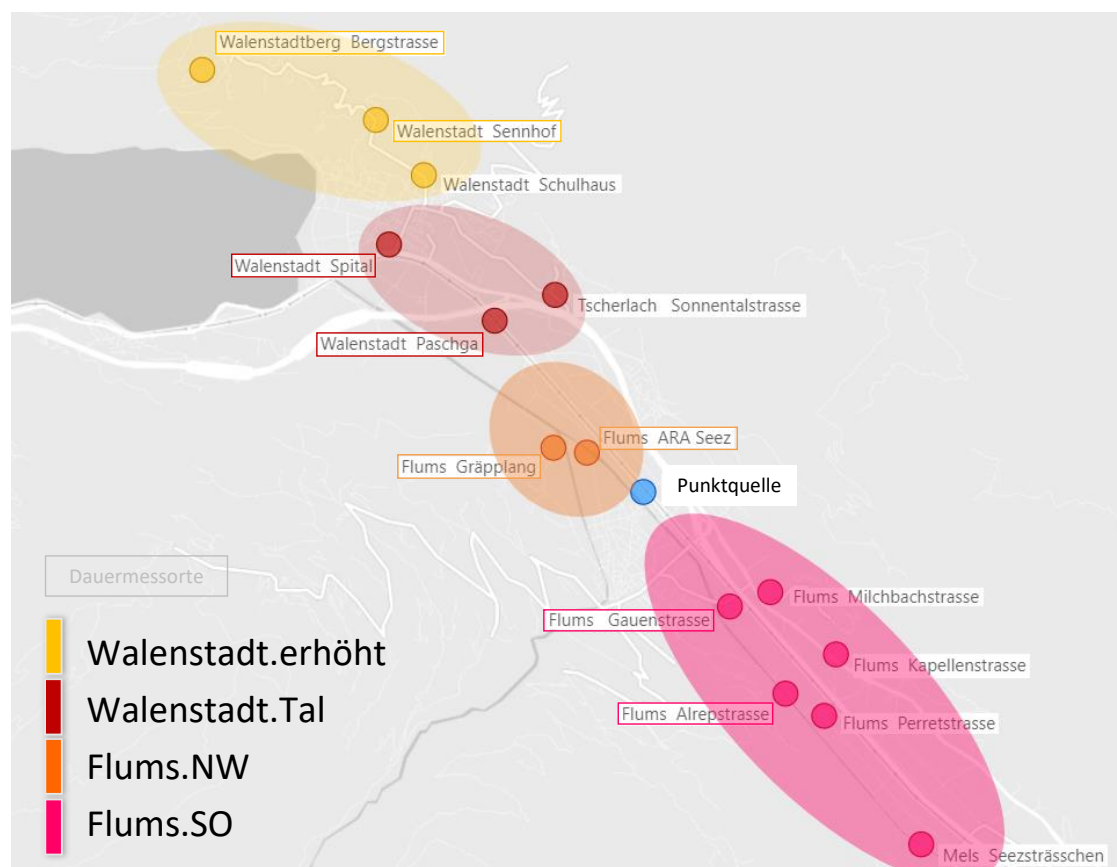


Abb. 5 Abbildung Seeztal mit Standorten der SO₂-Passivsammler 2021/ 2022. Abstand zur Punktquelle, siehe Tab A1 im Anhang.

5.1.2 Kontinuierliches SO₂ Messgerät

Zwischen Oktober 2021 und Juni 2022 wurde die SO₂ Belastung am Standort Flums ARA (vergl. Abb.5) mit einem kontinuierlichen SO₂-Messgerät (Abb. 6) gemessen, um auch an einem Standort eine hohe Zeitauflösung der Konzentrationen zu gewährleisten. Zudem erlaubt die Messung am gleichen Standort wie 2015-2017 einen direkten Vergleich mit den früheren Ergebnissen. Das Messgerät wurde in einem Gebäude der ARA Seez installiert. Ein Vergleich der Messungen Passivsammler zu kontinuierlichem Messgerät zeigt auf Vier-Wochen Basis eine hohe Übereinstimmung (Bestimmtheitsmass $R^2 > 0.9$), hier nicht gezeigt.



Abb. 6 kontinuierliches SO₂ Messgerät

5.2 UFP Messungen 2021/ 22

Derzeit existiert kein Referenzverfahren für UFP-Messungen. Zur Messung von UFP wurden daher vier Umweltmessboxen (Prototypen) der Firma NANEOS gemietet und im Zeitraum Oktober 2021 bis Juni 2022 eingesetzt, Abb.7. Diese Boxen sind im Vergleich zu anderen Messverfahren kompakt und robust. Dank ihres wetterfesten Gehäuses können sie unkompliziert an Aussenstandorten eingesetzt werden, benötigen aber einen Stromanschluss. Gemessen werden lungengängige Partikel (LDSA, lung-deposited surface area) im Bereich 10 - 300 nm, eine Messgrösse, die eine gute Vergleichbarkeit zu anderen UFP-Messgeräten (z.B. CPC, SMPS) aufweist. In diesem Projekt war vor allem ausschlaggebend, dass an allen vier Messorten das gleiche Messsystem zum Einsatz kam und die Ergebnisse direkt vergleichbar sind. Abb. 8 zeigt einen Landkartenausschnitt mit den vier Messstandorten.



Abb. 7 Umweltmessbox

5.3 Weitere Messgrössen

Neben den oben genannten Messgeräten wurden meteorologische Messdaten der Meteoschweiz Messstationen Bad Ragaz und Quinten, sowie der ARA Walenstadt verwendet. Weiterhin wurde am SO₂ Passivsammlerstandort Gräpplang eine Webcam installiert, um die Wettersituation und die sichtbaren Industrieemissionen verfolgen zu können.

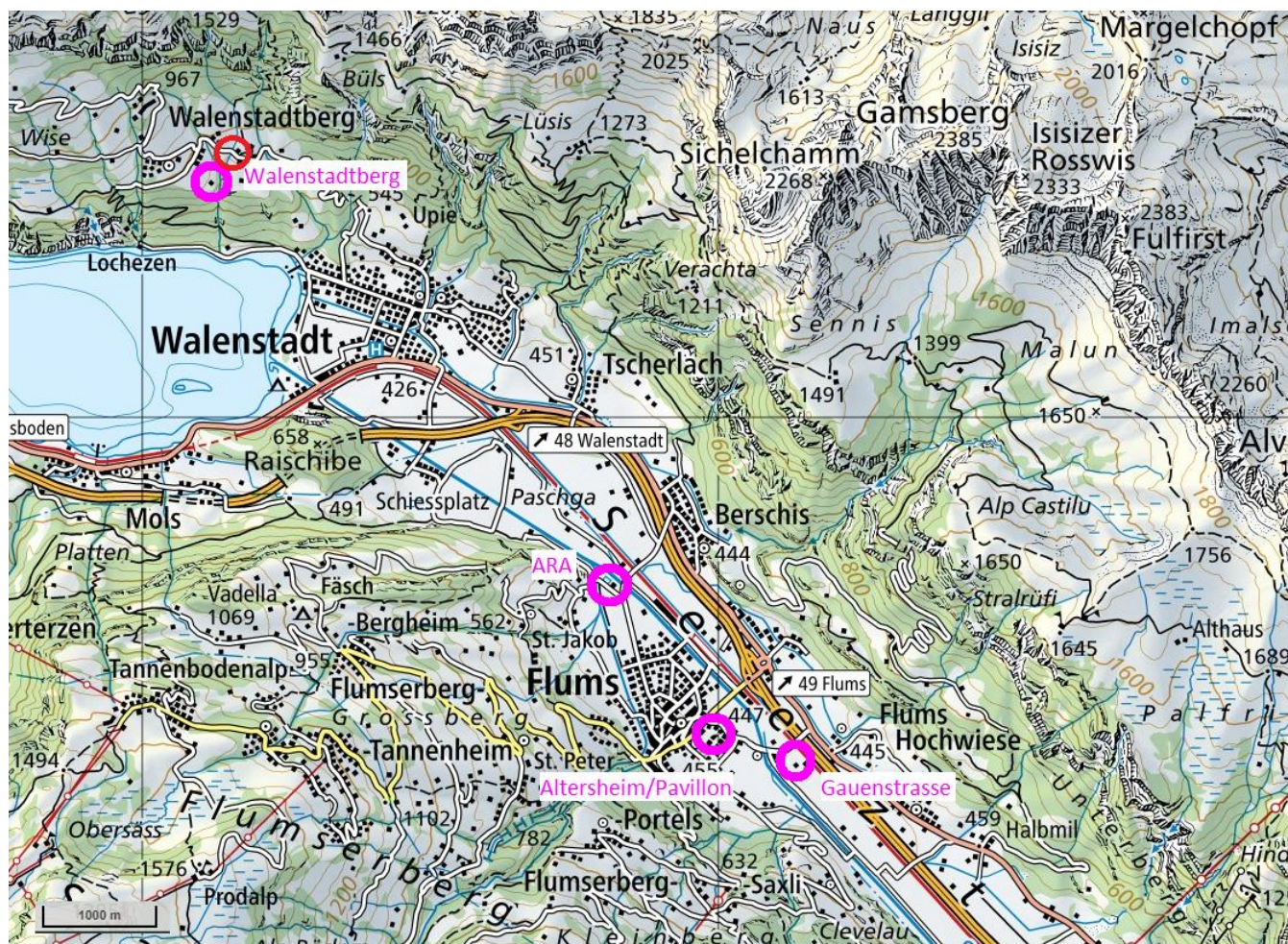


Abb. 8 Übersichtskarte Flums und Walenstadt im Seetal, Messstandorte der Umweltmessboxen. Der Standort Walenstadtberg wurde im März um rund 300 m nach Norden verschoben (rot).

6 Ergebnisse

6.1 Räumliche Belastung durch SO₂

Die Messergebnisse der SO₂-Passivsammler aus zwölf Messserien sind in Tab. 1 dargestellt. Die SO₂-Daten wurden für die weiteren Analysen teilweise nach Messgebieten gruppiert, da die Konzentrationen der Standorte innerhalb eines Gebiets übereinstimmende Verläufe zeigten. In den nachfolgenden Abbildungen sind diese Gebiete farbkodiert (Vergl. Tab.1, Abb.5 und weitere Darstellungen). Die betrachteten Gebiete sind Walenstadt erhöht, Walenstadt Tal, Flums Nordwest und Flums Südost.

SO₂ Konzentration in µg/m³

Messzeitraum	Winterpause Punktquelle					
	21.6.-19.7.21 Serie 1	16.8. - 13.9.21 Serie 2	13.9.-12.10.21 Serie 3	12.10.-8.11.21 Serie 4	8.11.-7.12.21 Serie 5	21.12.21-4.1.22 Serie 6
Walenstadtberg Bergstrasse	0.2	0.6	0.9	0.6	0.5	0.3
Walenstadt Sennhof	0.4	0.8	0.8	0.9	0.7	0.2
Walenstadt Schulhaus	0.3	0.7				
Walenstadt Spital	0.4	0.8	0.6	0.6	0.5	0.3
Walenstadt Paschga	0.5	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3
Tscherlach Sonnenttalstrasse	0.5	0.7				
Flums Gräpplang	0.9	0.8	0.8	0.5	0.5	0.4
Flums ARA Seez	0.8	1.1	1.0	0.5	0.4	0.2
Flums Gauenstrasse	1.7	1.4	1.4	0.7	0.4	0.3
Flums Milchbachstrasse					0.3	0.2
Flums Alrepstrasse	2.1	1.4	1.5	0.8	0.5	0.3
Flums Perretstrasse			1.4	0.8	0.5	0.2
Flums Kapellenstrasse						
Mels Seezsträsschen			0.9	0.6		

Messzeitraum	Winterpause Punktquelle					
	4.1.-3.2.22 Serie 7	3.2.-1.3.22 Serie 8	1.3.-29.3.22 Serie 9	29.3.-26.4.22 Serie 10	26.4.-24.5.22 Serie 11	24.5.-21.6.22 Serie 12
Walenstadtberg Bergstrasse	0.6	0.5	1.3	0.9	0.8	0.6
Walenstadt Sennhof	1.5	0.8	1.9	1.1	0.9	0.8
Walenstadt Schulhaus						
Walenstadt Spital	0.6	0.6	1.7	0.8	1.0	1.0
Walenstadt Paschga	0.5	0.6	1.6	0.8	1.0	1.0
Tscherlach Sonnenttalstrasse						
Flums Gräpplang	0.6	0.6	1.5	0.8	0.9	0.9
Flums ARA Seez	0.5	0.6	1.7	0.9	1.1	1.1
Flums Gauenstrasse	0.7	0.8	1.5	1.8	1.3	1.2
Flums Milchbachstrasse	0.6					
Flums Alrepstrasse	1.0	0.9	1.2	2.2	1.5	1.2
Flums Perretstrasse	0.8					
Flums Kapellenstrasse		0.8	1.1	0.9		
Mels Seezsträsschen						

Tab. 1 SO₂ Passivsammler – Standorte, Messperioden und Messwerte

Für die Dauermessorte aus Tab. 1 wurden Jahresmittelwerte berechnet, diese sind in Abb. 9 dargestellt. Für den Standort ARA wurde auch der Jahresmittelwert 2016 dargestellt, dieser lag deutlich höher als 2021/2022. Die Jahresmittelwerte zeigen, dass die Standorte im Gebiet Flums Südost rund ein Drittel höhere Konzentrationen aufweisen, als die anderen Messorte. Der Standort Walenstadt Sennhof zeigt im gesamten Messjahr einen ähnlichen Belastungsverlauf wie Walenstadtberg Bergstrasse, jedoch mit rund 50% höheren Konzentrationen. In Serie 7, ist die Konzentration am Sennhof höher als an allen Standorten und rund 150% höher als an der Bergstrasse. Dieser einzelne Messwert und wohl "Ausreisser" ist Grund dafür, dass der Standort Sennhof in den Jahresmittelwerten als dritthöchster Standort auftritt.

Für SO₂ liegen Immissionsgrenzwerte gemäss LRV vor. Es gelten der Jahresmittelwert für SO₂ von 30 µg/m³, sowie der 24h-Mittelwert (darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden) von 100 µg/m³. Der Jahresmittelgrenzwerte wurden an allen Standorten weit unterschritten. Der Tagesmittelgrenzwert ist für Passivsammlermessungen nicht anwendbar. Er wurde jedoch für 2016 und den Zeitraum mit kontinuierlichen Messungen am Standort ARA eingehalten.

Jahresmittelwerte SO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

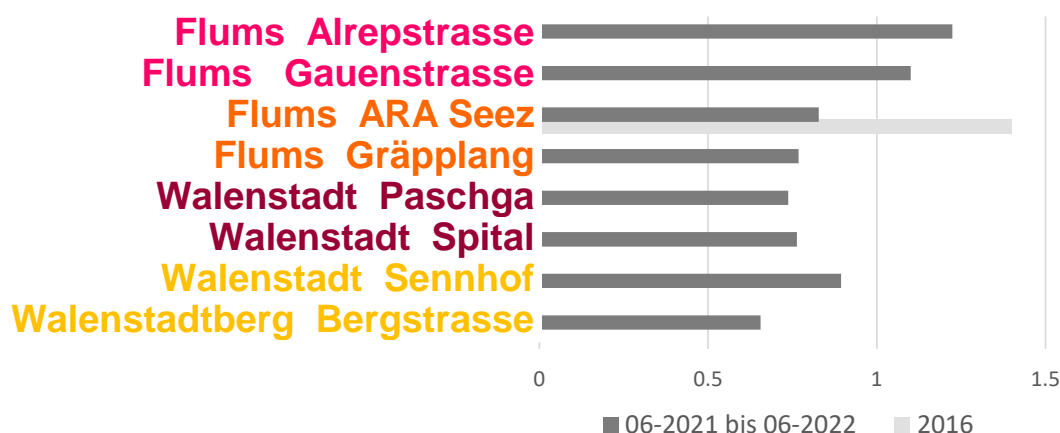


Abb. 9 SO₂ Jahresmittelwerte für die Dauerstandorte

Abb. 10 zeigt den Jahresverlauf verschiedener SO₂-Passivsammler im Seetal, sowie Messungen anderer Schweizer Standorte (NABEL Daten Empa/BAFU). Aufgrund der grossen Übereinstimmung der Messwerte innerhalb der Gebiete Walenstadt Tal, Flums Nordwest und Flums Südost wurden diese gruppiert dargestellt. Im Anhang sind die Ergebnisse nochmals als Quartalsmittelwerte dargestellt. Die Messungen liefern folgende Erkenntnisse:

1. Im Gebiet Flums Südost wurden ganzjährig die höchsten Belastungen des Seetals gemessen, im Sommer lagen diese zwischen 1.2 und 2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und waren damit deutlich höher, als in den anderen drei Gebieten.
2. Von allen Einzelstandorten im Seetal wies der Standort Alrepstrasse mit 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel die höchste Belastung auf. Die Konzentrationen waren dort somit fast doppelt so hoch wie in Walenstadt Bergstrasse, dem am wenigsten belasteten Standort.
3. Die SO₂ Belastungen der Talstandorte zeigen einen deutlichen Jahresgang, die höchsten Konzentrationen werden im Frühling und Sommer erreicht, während der Herbst und Winter weniger stark belastet sind. Grund dafür sind die Bodeninversionen im Winter, die eine Mischung der Luftschichten verhindern.
4. In Walenstadtberg werden im Sommer die tiefsten Konzentrationen gemessen (vergl. auch Abb. A5 im Anhang), der Belastungsverlauf der beiden Bergstandorte gleicht eher denen des NABEL-Messnetzes.
5. An den NABEL-Standorten werden die höchsten SO₂-Belastungen im Winter gemessen und die niedrigsten im Sommer.

- Während der Produktionspause (Serie 6) lagen die Konzentrationen im Seeztal in allen Gebieten bei 0.2 - 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, also ähnlich wie am Hintergrundstandort Payerne, während die anderen NABEL-Standorte deutlich stärker belastet waren (0.6 - 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Die SO_2 Belastung während Serie 9 war an fast allen Standorten, sowohl in Flums als auch den NABEL Messorten, aussergewöhnlich hoch. In dieser Periode trat überwiegend starker Ostwind auf, die hohen Konzentrationen sind daher vermutlich auf Ferntransport aus Osteuropa zurückzuführen.
- Die SO_2 Belastung Südost stimmt gut mit den Zusatzbelastungsprognosen für die SO_2 -Immissionen (Meteotest 2017) überein, vgl. Abb. 3. In Richtung Nordwest ist der belastete Bereich etwas ausgedehnter als vorhergesagt.

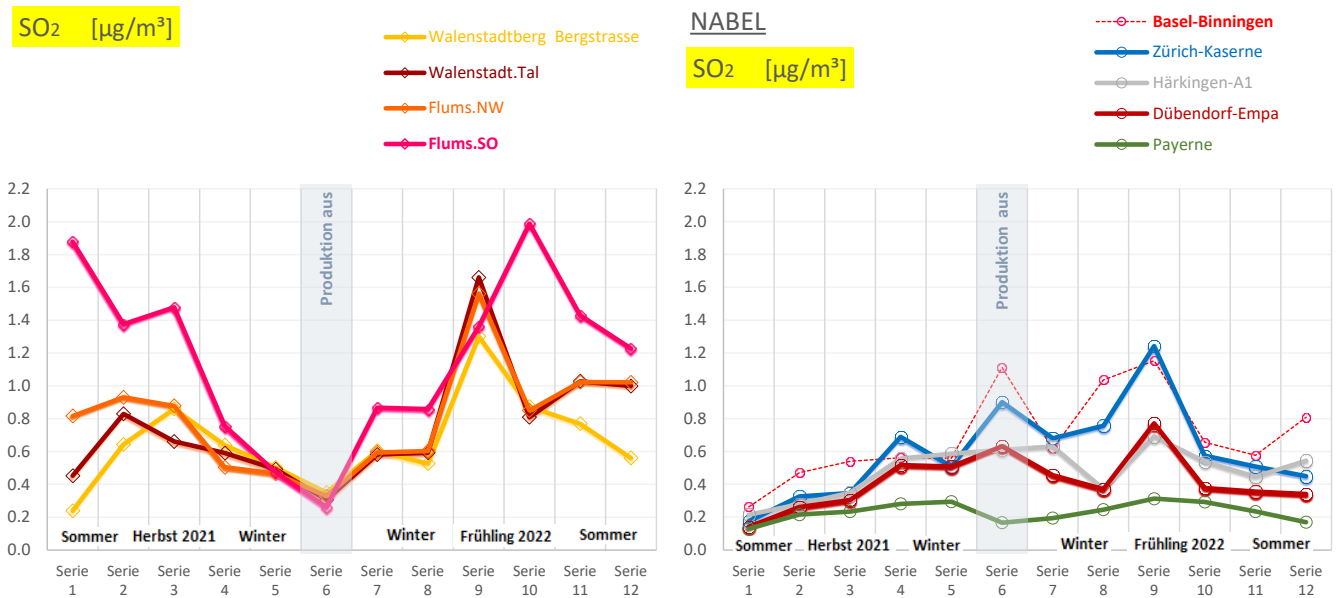


Abb. 10 Links: Serienmittelwerte für SO_2 für die vier Messgebiete im Seeztal. Grau schraffierte Serie 6, Winterpause der Steinwolleproduktion. Rechts: Zeitgleiche SO_2 Werte an fünf Messstandorten des NABEL-Messnetzes (Empa/Bafu).

6.2 Tagesverlauf der Belastung durch SO_2

Abb. 11 zeigt die SO_2 -Konzentrationen (zwischen Oktober 2021 und Juni 2022) des kontinuierlichen Messgerätes in verschiedener Zeitauflösung am Standort Flums ARA. In allen Jahreszeiten treten Belastungen zwischen dem späten Vormittag und dem frühen Abend auf. Am stärksten ist das Frühjahr belastet. Während die mittleren Konzentrationen nachts um $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, werden im Frühjahr um die Mittagszeit an Werktagen durchschnittlich Konzentrationen von 5 bis $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Die Belastung zeigt einen Wochengang. Am Sonntag, wenn die Steinwolleproduktion aus ist, treten keine SO_2 -Peaks auf.

Das Intervall in dem die SO₂ Peaks an der ARA auftreten erstreckt sich rund um die Mittagszeit. Dies ist genau der Zeitraum, in welchem die Hauptwindrichtung Nordwest durch Wind aus Südosten unterbrochen wird und ein Windwechsel stattfindet, vergl. Abb. 2.

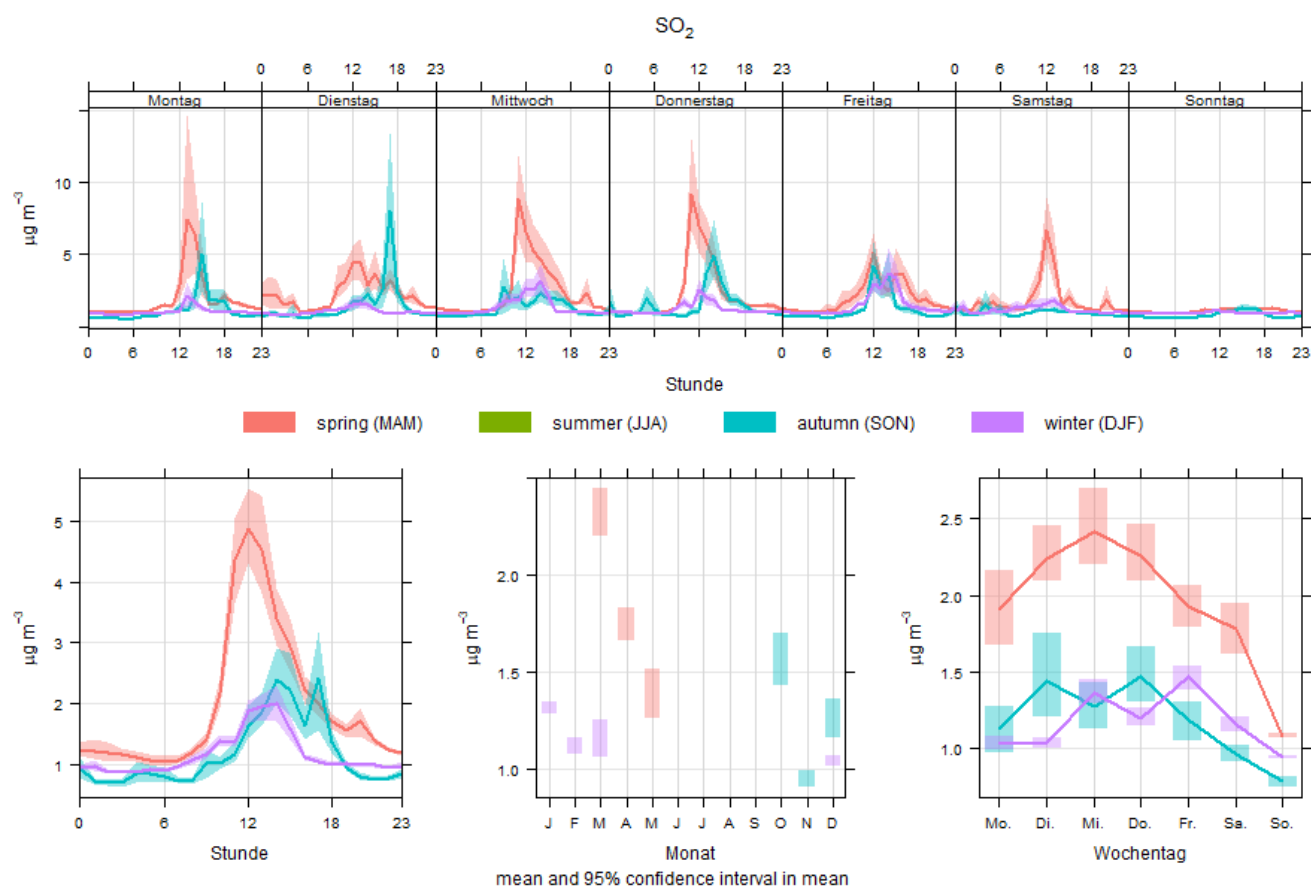


Abb. 11 Vergleich der SO₂-Belastung in Flums. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahrgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts).

6.3 Belastung durch UFP

UFP entstehen aus verschiedenen Quellen, Hauptquellen sind typischerweise der Verkehr und Holzfeuerungen. Die früheren Messungen 2015-2017 in Flums zeigten aber auch einen Beitrag der Steinwolleproduktion auf. Abb. 12 und 13 zeigen die Verläufe der LDSA-Konzentrationen (zwischen Oktober 2021 und Juni 2022) in verschiedenen Zeitaufösungen für die Herbst-Winter-Monate und den Frühling. Um die Belastung der Steinwolleproduktion aufzuzeigen, ist ebenfalls die SO₂-Belastung dargestellt.

Für den Herbst/ Winter zeigt die LDSA an allen Standorten einen stark verkehrsabhängigen Tagesverlauf (Morgen- und Abendpeak). Die Belastung zeigt einen Wochengang, am Wochenende sinken die Konzentrationen leicht ab. In Flums bewegen sich die LDSA Belastungen im Herbst/ Winter im Monatsmittel bei bis zu 30 µm²/cm³ an der ARA und zwischen 15-20 µm²/cm³ in Walenstadtberg. Die hohen Morgen- und

Abendpeaks am Standort ARA sind aufgrund der nahen Autobahn plausibel. Die Umweltmessbox am Standort Walenstadtberg war im Herbst/ Winter abseits des Verkehrs und nahe Häusern mit Holzfeuerungen befestigt. Dies erklärt den abweichenden Tagesgang (Heizen/Kochen). Im Frühling wurde sie weiter in den Dorfkern verschoben.

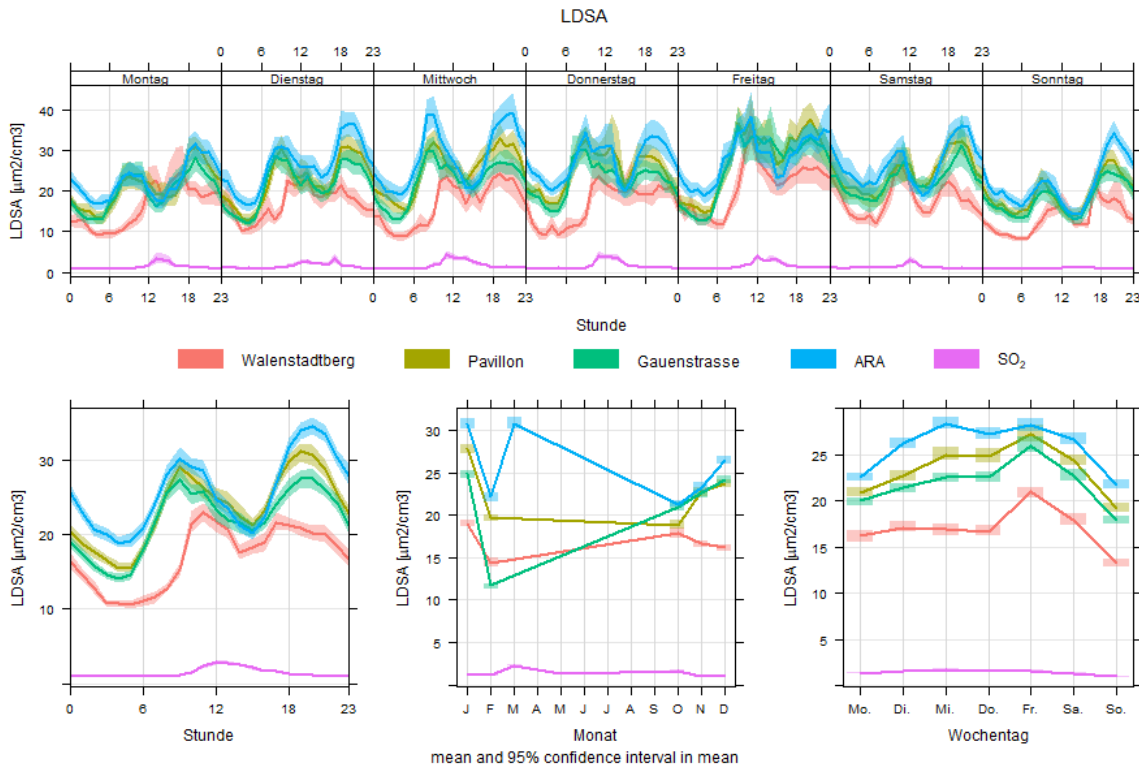


Abb. 12 Vergleich der LDSA im Herbst/Winter im Seetal. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahrgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts). SO₂ Verlauf in µg/m³ (gleiche Achse ohne Beschriftung).

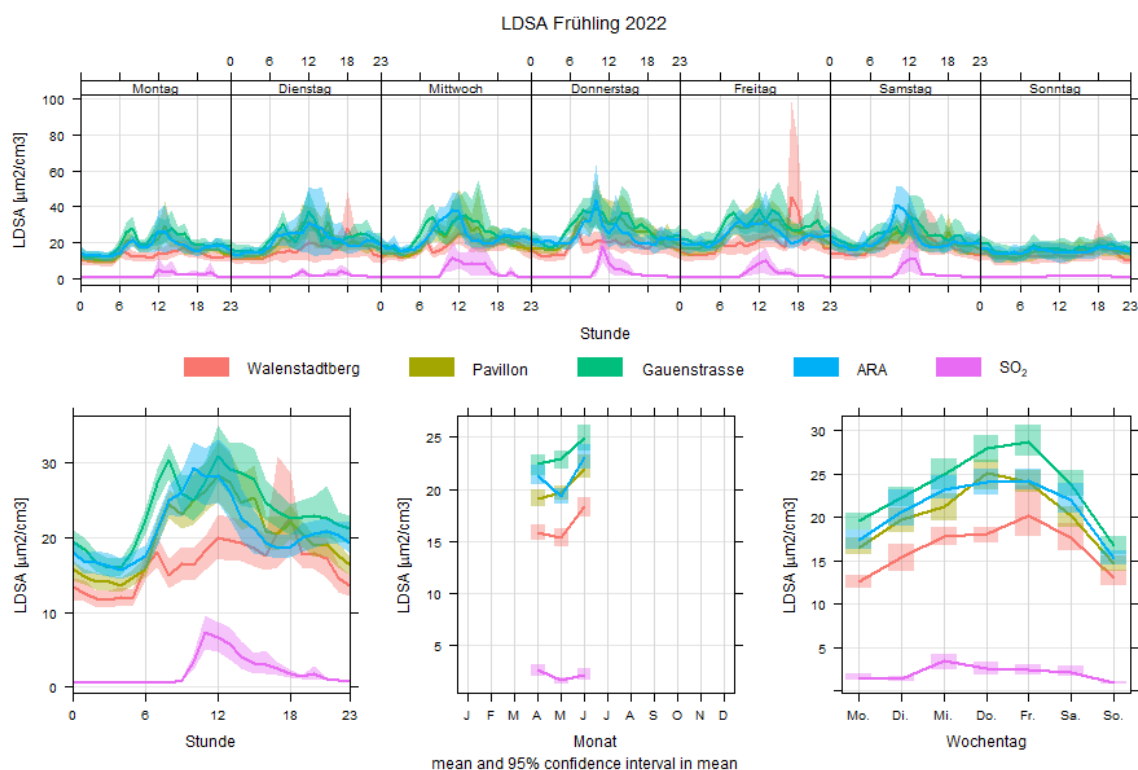


Abb. 13 Vergleich der LDSA im Frühling im Seetal. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts). SO₂ Verlauf in µg/m³ (gleiche Achse ohne Beschriftung).

Im Frühling sind die LDSA Belastungen im Monatsmittel etwas tiefer als im Herbst/ Winter. Die höchsten Belastungen werden nun an der Gauenstrasse erreicht, die niedrigsten wieder am Walenstadtberg. Auch der Tagesverlauf hat sich verändert. Neben dem Morgen- und Abendpeak (Verkehr) ist an allen Standorten ein prominenter Mittagspeak zu sehen, dieser stimmt zeitlich mit Auftreten von SO₂ überein. Auffallend ist, dass auch die Orte im Südosten einen Mittagspeak haben.

Dies lässt sich erklären, da beim täglichen Windwechsel von Südost auf Nordwest (vergl. Abb. 2) noch Schwachwindverhältnisse herrschen. Die vorher mit Südostwind in Richtung Walensee transportierte SO₂ haltige Luft wird zurückgeschoben und in die bodennahen Schichten sowohl zur ARA als auch zum Pavillon und zur Gauenstrasse transportiert. Wenn die Windgeschwindigkeit aus nordwestlicher Richtung ansteigt, wird die Abluffahne flacher in Richtung Riet gelenkt (Webcam Beobachtung). Wie die PS Messungen zeigen fliegt die Abluffahne also stärker in Richtung Mels / Hinterberg und weniger Richtung Flums Hochwiese.

Diese Beobachtung ist auch nochmals in Abb. 14 dargestellt. Diese zeigt einen mehrtägigen Ausschnitt der SO₂ und LDSA Messungen im April/Mai 2022 in Zusammenhang mit der Windrichtung. Hohe Peaks, sowohl für der SO₂ und LDSA treten teilweise gleichzeitig auf und das an allen Standorten. Diese sind nicht während der gesamten Phase mit Südostwind vertreten, sondern vor allem in dem kurzen Zeitintervall, indem sich der Wind von Nordwest auf Südost umstellt. In diesem Intervall schwankt die Windrichtung noch und es entstehen

Turbulenzen. Es ist anzunehmen, dass dadurch die Immissionen der Punktquelle grossflächig zurückgeschoben und zu Boden gedrückt werden und somit im gesamten Dorf gemessen werden können.

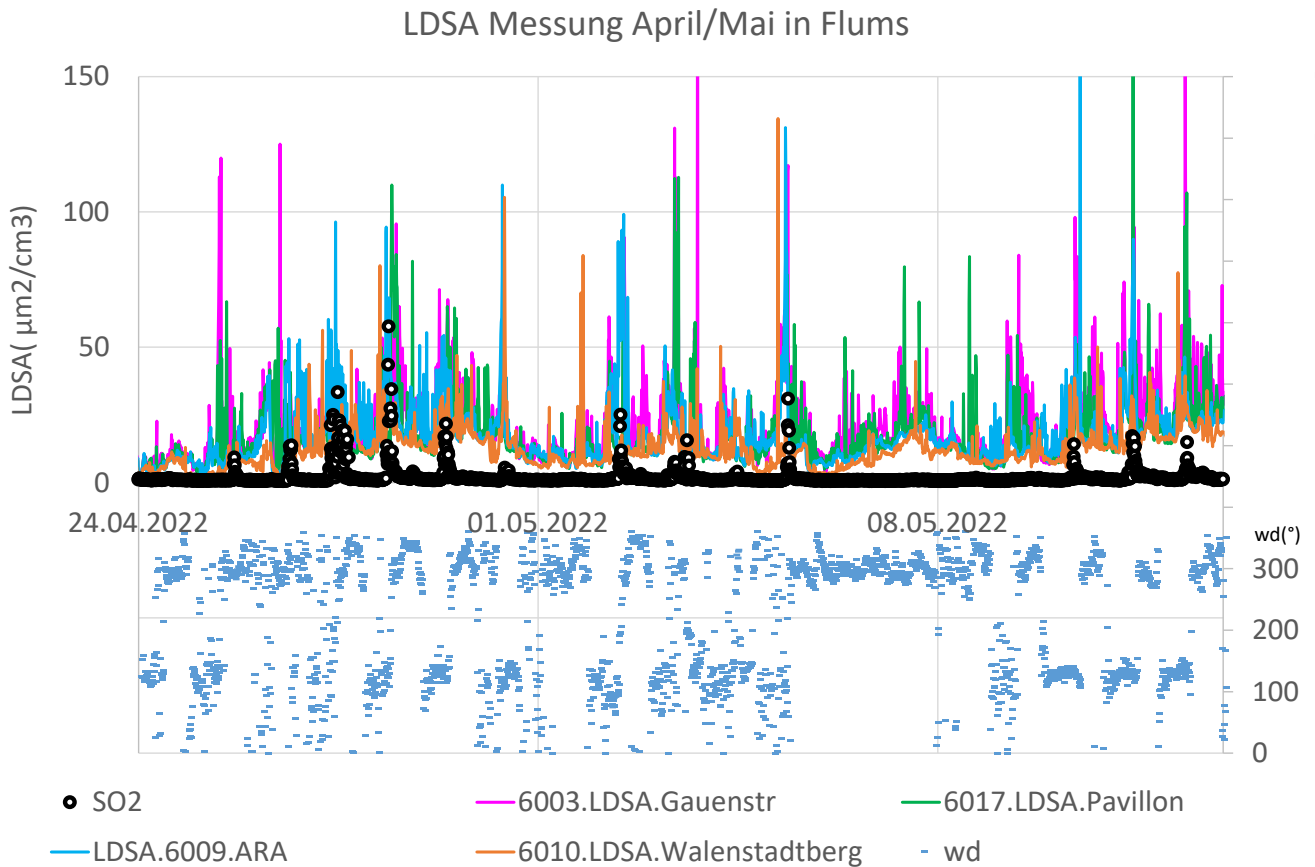


Abb.14 Vergleich der LDSA-Belastung (10 min Mittelwerte) im Seeztal mit der Windrichtung (wd) und SO₂ in µg/m³ (gleiche Achse wie LDSA ohne Beschriftung).

6.4 Zusätzliche Belastung durch UFP

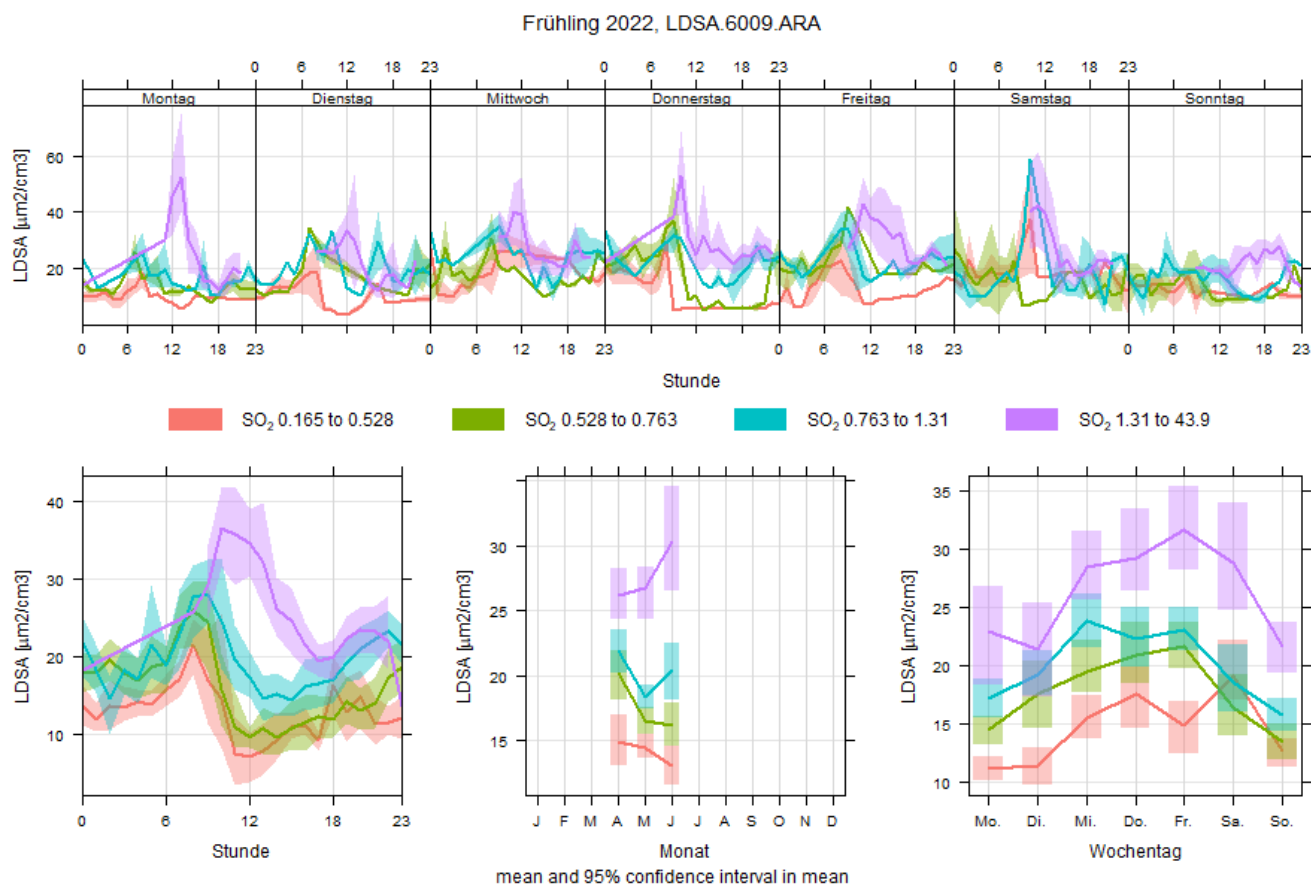


Abb. 15 Vergleich der LDSA Belastung je nach SO₂ Konzentration in Flums ARA. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts).

Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass der Einfluss der Steinwolleproduktion auf die UFP Belastung in den wärmeren Monaten am höchsten ist. Für den Frühling 2022 lässt sich mit den SO₂ Daten des kontinuierlichen Messgerätes und der LDSA für den Standort Flums ARA abschätzen, wie hoch der zusätzliche Beitrag durch UFP dann ist. Abb. 15 zeigt den mittleren LDSA Verlauf am Standort ARA in Abhängigkeit der SO₂ Konzentration. Während Zeiten, an denen viel SO₂ (> 1.31 µg/m³) und somit auch einzelne hohe Peaks gemessen werden, ist auch die LDSA deutlich höher. Im Tagesverlauf liegt sie beispielsweise mittags rund dreimal so hoch, wie an Tagen mit wenig SO₂. Im Monats- und Wochenmittel unterscheiden sich die LDSA Messungen während hohen und niedrigen SO₂ Belastungen damit um bis zu einen Faktor Zwei.

7 Ausblick - Feinstaubdrohne

Im Rahmen einer Bachelorarbeit¹ der Fachhochschule Nordwestschweiz wurde 2022 eine Feinstaubdrohne (Abb. 16) zur Messung von UFP (als LDSA [$\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$]) konzipiert und an verschiedenen Messorten eingesetzt. Einer der Einsatzorte war Flums. Die Ergebnisse dieses Einsatzortes werden nachfolgend kurz zusammengefasst.

Der Einsatzort der Drohnenmessung in Flums befand sich im Gebiet Flums Südost, rund 1.8 bis 2.6 km von der Steinwolleproduktion entfernt. Mit der Drohne wurden mehrere Flüge durchgeführt und die LDSA vom Boden bis in eine Höhe von 60 m gemessen. Einige Male befand sich die Abgaswolke im überflogenen Gebiet. Die Messung ergab dann trotz des grossen Abstandes zur Quelle und der Verdünnung noch Belastungen in der Grössenordnung >50 LDSA (oftmals) und bis >100 LDSA (teilweise). Der Erwartungswert eines landwirtschaftlichen Gebietes wären 10 LDSA.

Abb. 7 zeigt drei exemplarische Drohnenmessungen vom Mai 2022. Diese zeigen ähnlich hohe Belastungen, wie sie zeitgleich am Standort Gauenstrasse gemessen wurden (rund 1.4 km südöstlich der Punktquelle).



Abb. 16 Feinstaubdrohne von vorne (links), und von der Seite mit Luftansaugung (rechts).

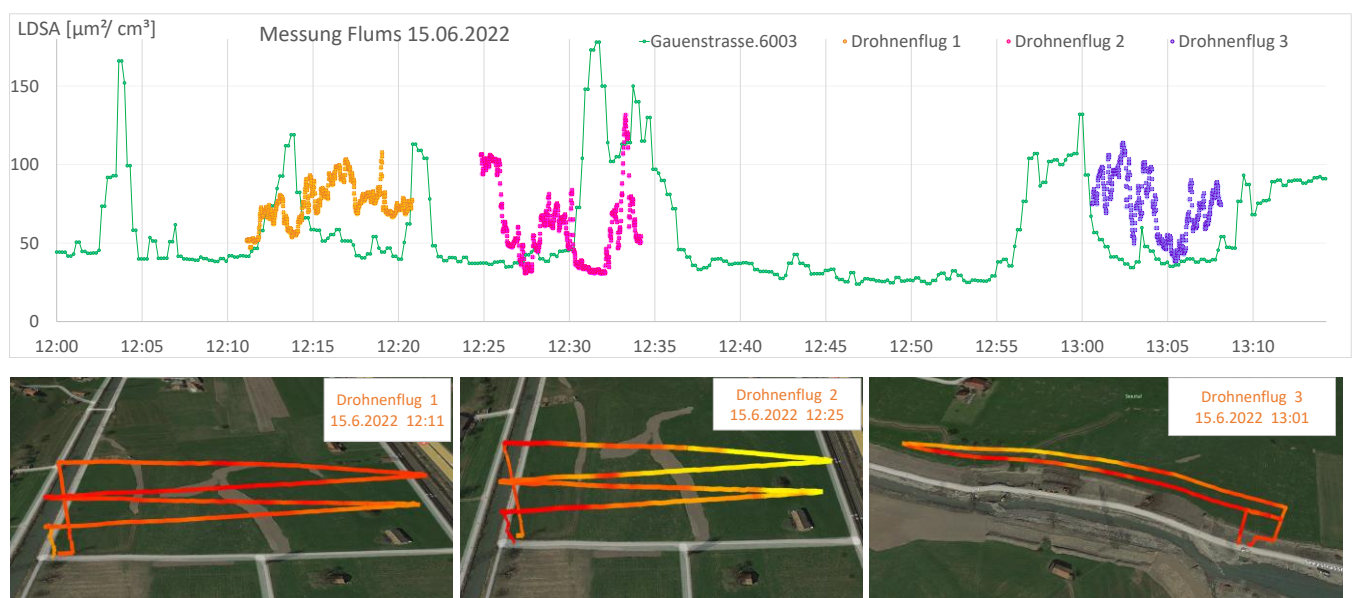


Abb. 17 **Oben:** LDSA Verlauf zwischen drei Drohnenmessungen und Standort Gauenstrasse am 15.6.2022. **Unten:** Visualisierung der Flugstrecken, LDSA Konzentration farbkodiert (rot>orange>gelb).

¹ Bachelorthesis Dominic Gassl, Feinstaubdrohne – Optimierung des Konzepts und Umsetzung, FHNW 2022

8 Anhang



Abb. A1: Walenstadt erhöht



Abb. A2: Walenstadt Tal

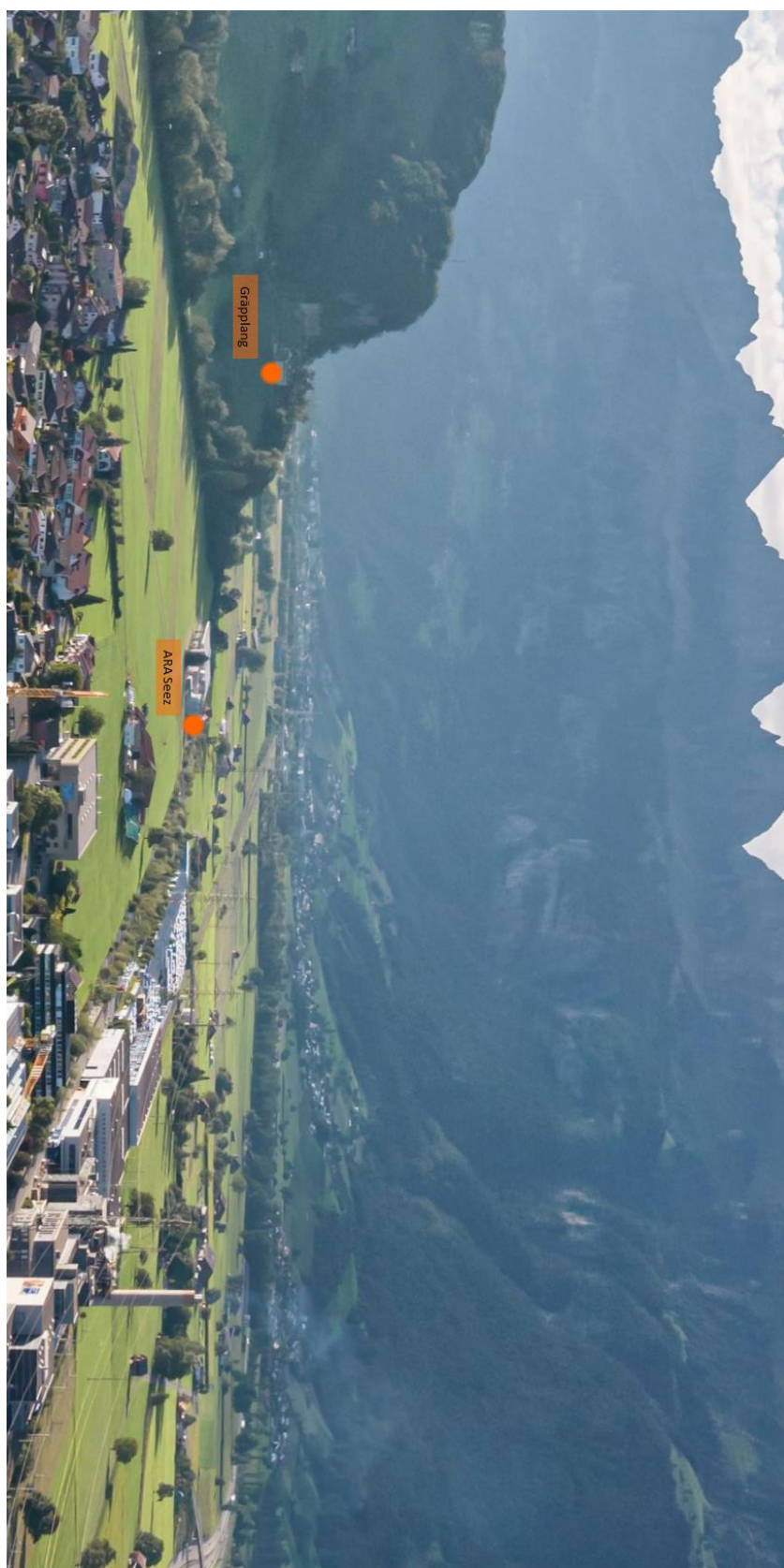


Abb. A3: Flums Nordwest

Seeztal, UFP, Schlussbericht

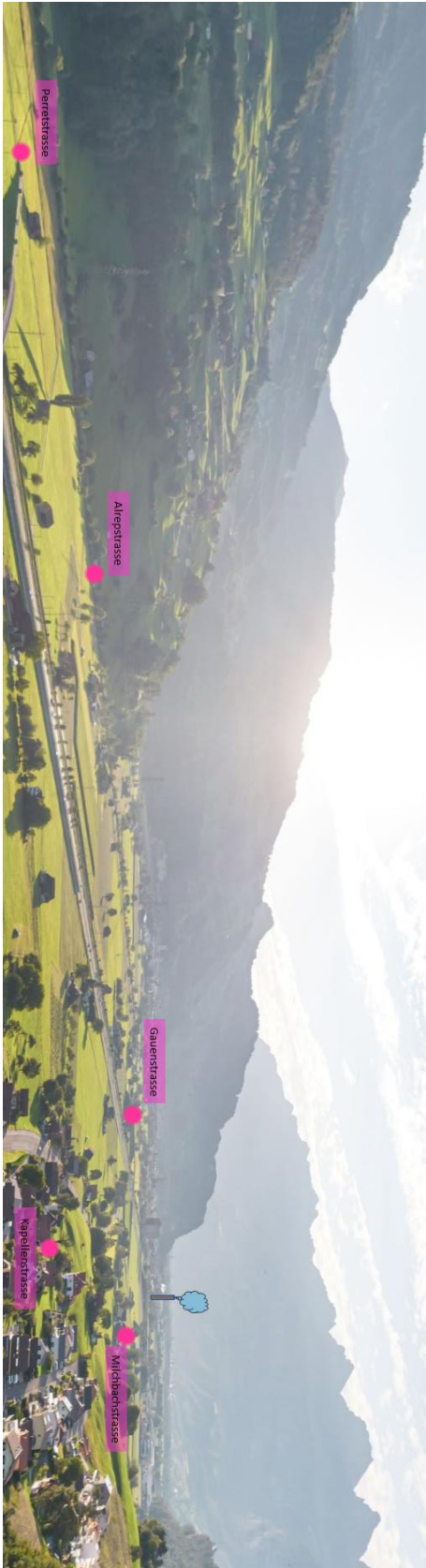


Abb. A4: Flums Südost

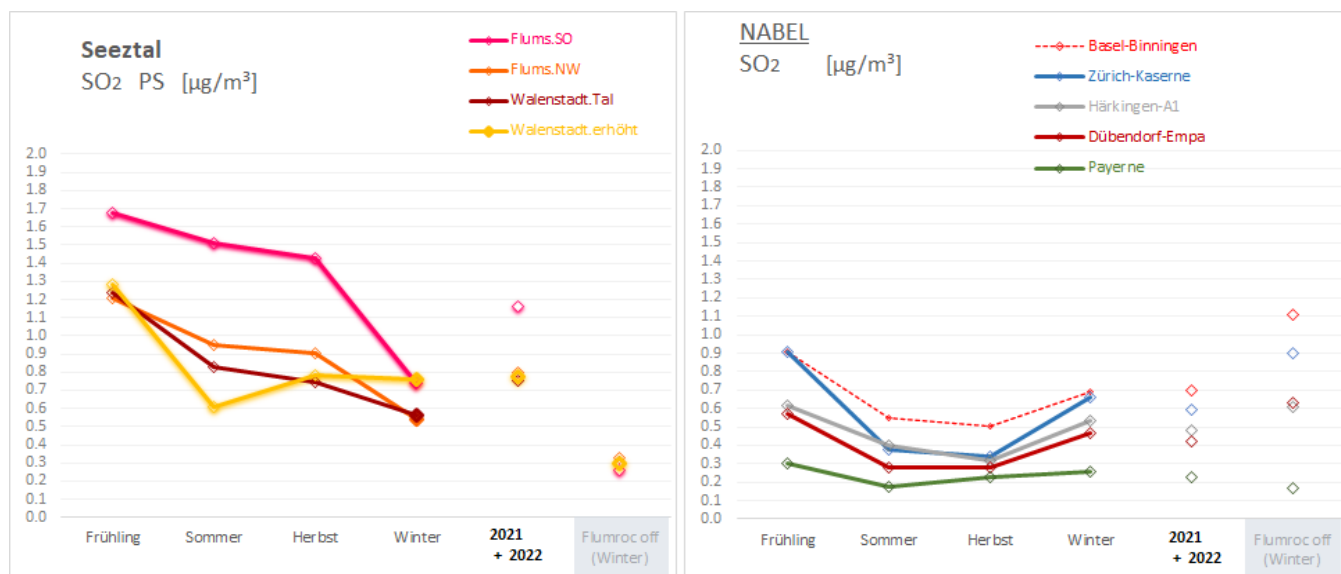


Abb. A5 Links: Quartalsmittelwerte für SO₂ für die vier Messgebiete im Seetal. Grau schraffierte Serie 6, Winterpause der Steinwolleproduktion. Rechts: Zeitgleiche SO₂ Quartalsmittelwerte an fünf Messstandorten des NABEL-Messnetzes (Empa/Bafu).

Walenstadtberg Bergstrasse	6060
Walenstadt Sennhof	4540
Walenstadt Schulhaus	3820
Walenstadt Spital	3520
Walenstadt Paschga	2250
Tscherlach Sonnentalsstrasse	2130
Flums Gräpplang	997
Flums ARA Seez	685
Flums Gauenstrasse	1410
Flums Milchbachstrasse	1600
Flums Alrepstrasse	2450
Flums Perretstrasse	2850
Flums Kapellenstrasse	2500
Mels Seezsträsschen	4450

Tab. A1 Abstand der SO₂-Messorte zur Punktquelle (Kamin) in m