



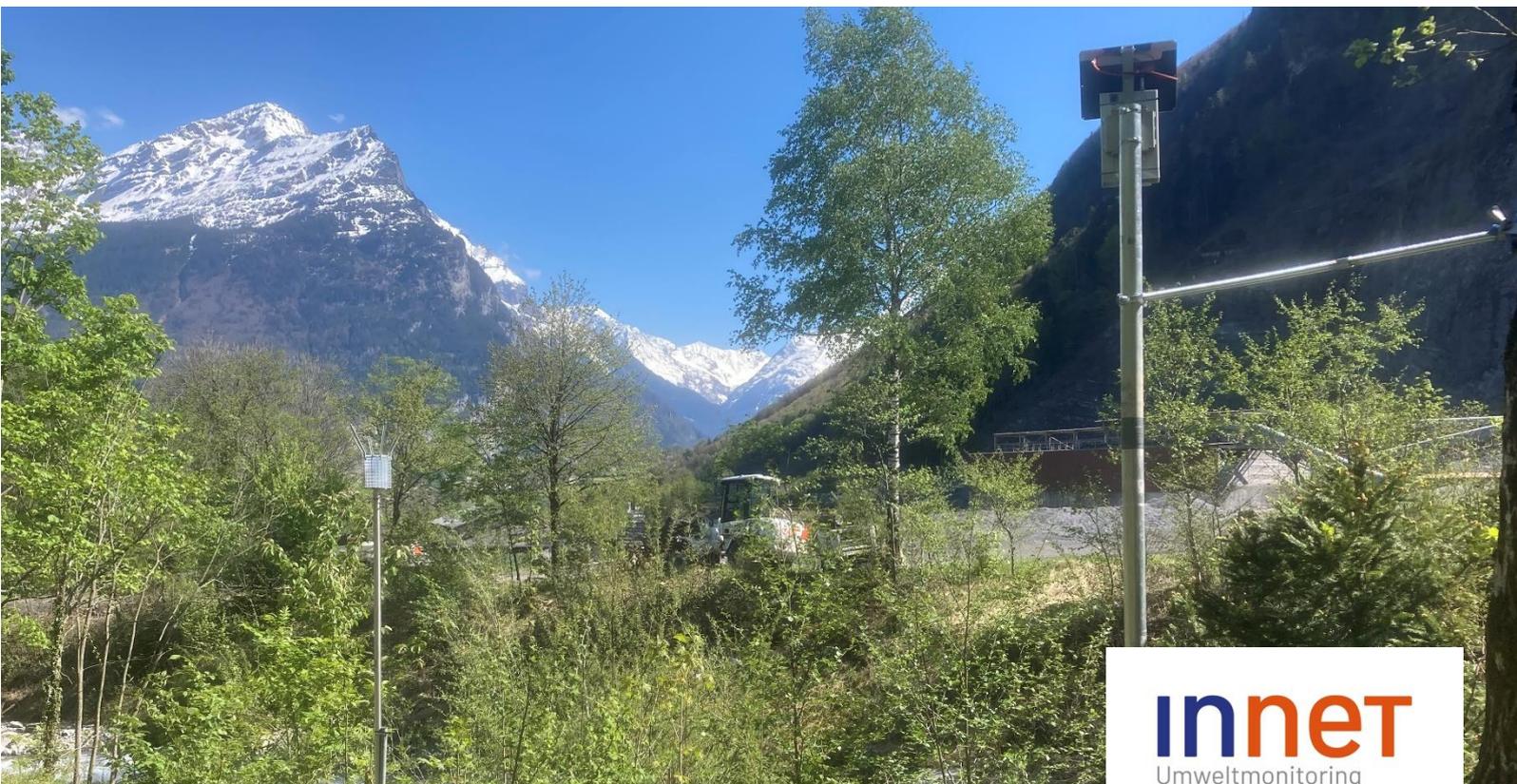
KANTON  
URI

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ

---

# Kurzbericht zu PM2.5-Messungen mit NuboAir

Gerätevergleich, Messergebnisse & mögliche Anwendungen



Messstation am Palanggenbach in Eielen.  
Foto: Renato Mauri, inNET Monitoring AG

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

Amt für Umweltschutz, Kanton Uri  
Klausenstrasse 4  
6460 Altdorf  
Telefon: 041 875 24 30  
E-Mail: [afu@ur.ch](mailto:afu@ur.ch)  
[www.ur.afu.ch](http://www.ur.afu.ch)

### **Bearbeitung**

Hannah Wey  
Christian Ruckstuhl  
Renato Mauri  
inNET Monitoring AG

### **Projektleitung**

Niklas Joos  
Leitung Abteilung Immissionsschutz  
Amt für Umweltschutz

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Methodik</b> .....	<b>3</b>
2.1. Datengrundlage Meteorologie .....	5
2.2. Datengrundlage PM2.5.....	5
2.3. Korrektur der Fidas-Werte mit HVS-Daten .....	5
<b>3. Resultate</b> .....	<b>5</b>
3.1. Meteorologie .....	5
3.2. Korrektur der Fidas-Daten .....	7
3.3. Gerätevergleich .....	7
3.4. Messwertanalyse.....	10
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>12</b>
4.1. Benutzerfreundlichkeit des Datenbezugs.....	12
4.2. Empfehlung für den Anwendungsbereich von NuboAir.....	12
<b>5. Anhang</b> .....	<b>13</b>

## 1. Einleitung

Bei der letzten Revision der Luftreinhalteverordnung (LRV) im April 2018 genehmigte der Bundesrat die Einführung eines Jahresmittelgrenzwert für PM<sub>2.5</sub>.<sup>1</sup> Dieser Immissionsgrenzwert liegt bei 10 µg m<sup>-3</sup> und entspricht somit auch der internationalen Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

Zur Quantifizierung der PM<sub>2.5</sub>-Konzentration und zur Überwachung der Trendentwicklung ist ein kontinuierliches Monitoring notwendig. An der Messstation A2 Uri werden die PM<sub>2.5</sub>-Konzentrationen seit 2019 kontinuierlich erfasst, wobei im Jahre 2020 ein Jahresmittelwert von 7.0 µg m<sup>-3</sup> gemessen wurde.<sup>2</sup> Dies stellt keine Überschreitung des Grenzwertes dar.

Um zuverlässige und vergleichbare Datensätze zu generieren ist es wichtig, dass Messungen mit einem hohen Qualitätsstandard durchgeführt werden. Das heutige Standardmessverfahren für Feinstaub besteht aus einem optischen Einzelpartikelmessgerät von Fidas und einem High Volume Sampler (HVS) mit gravimetrischem Messverfahren, welches zur Referenzierung des Fidas verwendet wird. Dieses Vorgehen entspricht den BAFU-Immissionsmessempfehlungen<sup>3</sup> und hat sich bewährt, ist aber auch aufwendig und kostenintensiv. Ein neu entwickelter optischer Sensor für die PM<sub>2.5</sub> Detektion in Echtzeit namens "NuboAir" von Sensirion ist im Vergleich günstig. Allerdings ist dessen Datenqualität unklar.

Dieser Bericht beinhaltet unterschiedliche Zielsetzungen, welche aufeinander aufbauen. Der erste Teil dieser PM<sub>2.5</sub>-Datenanalyse besteht aus einem **Gerätevergleich** (NuboAir versus Fidas und HVS), welcher Daten berücksichtigt, die in Erstfeld gemessen wurden. Dabei stellen sich folgende Fragen:

- Kann der NuboAir als Messgeräte für orientierende Messungen verwendet werden?
- Kann der NuboAir als autarkes Messsystem ganzjährig eingesetzt werden?
- Besteht zwischen den Datensätzen von NuboAir und Fidas ein (linearer) Versatz, bzw. muss der NuboAir-Datensatz grundsätzlich korrigiert werden?
- Welche Abhängigkeit gibt es zwischen der Luftfeuchte, der Temperatur und der Messunsicherheit der NuboAir-Messwerte?

Der zweite Teil der Datenanalyse berücksichtigt NuboAir-Messungen aus Moosbad und Eielen. In dieser Untersuchung geht es um eine **Messwertanalyse** der zwei Messstandorte. Dabei stellen sich folgende Fragen:

- Wie hoch ist die Immissionsbelastung an den beiden Standorten im Vergleich zu den Fidas-Messungen in Altdorf-Gartenmatt?
- Wie sieht ein typischer PM<sub>2.5</sub>-Tagesgang aus und was sind mögliche Erklärungen dafür?
- Welchen Einfluss haben die beiden Emittenten Feuerung Moosbad und ZAKU-Deponie Eielen auf die PM<sub>2.5</sub>-Belastung?

Dieser Bericht und die damit verbundenen Arbeiten wurden vom Amt für Umwelt (AfU) Uri in Auftrag gegeben und finanziert.

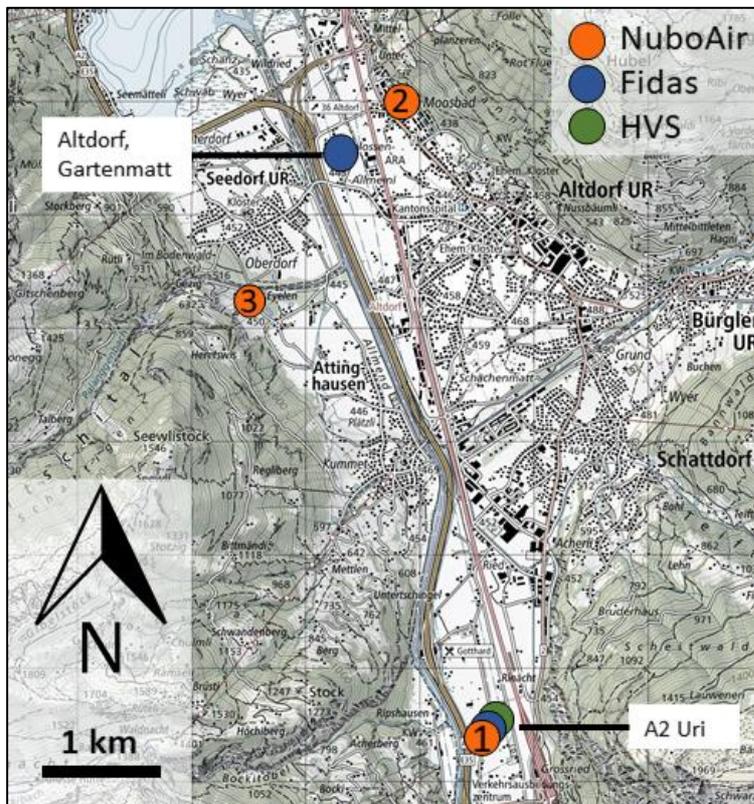
<sup>1</sup> BAFU (2020). Feinstaub. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftqualitaet-in-der-schweiz/feinstaub.html>. Letzter Besuch: 12.11.2021.

<sup>2</sup> Wey, H., Ruckstuhl, Ch., Bieri, S. (2021). Immissionsmessungen Kanton Uri. inNET Monitoring AG & Amt für Umweltschutz Uri.

<sup>3</sup> BAFU (2021). Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen – Messempfehlungen. Erstausgabe 1990. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2104: 41 S. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/immissionsmessung-von-luftfremdstoffen.html>

## 2. Methodik

Das NuboAir Messgerät wurde zuerst in Erstfeld aufgestellt (Messperiode 1, Tabelle 1), dann nach Moosbad transportiert (Messperiode 2) und am Ende in Eielen verwendet (Messperiode 3).



**Abbildung 1:** Standorte der in diesem Bericht verwendeten Messungen mit HVS, Fidas und NuboAir. Die Ziffern in den NuboAir-Messpunkten geben die Messperioden P1, P2 und P3 an.



**Abbildung 2:** Der High-Volume Sampler, das Fidas- und das NuboAir-Messgerät (von hinten nach vorne) in Erstfeld.

**Tabelle 1:** Verwendete Daten für den Vergleich des kostengünstigen NuboAir mit herkömmlichen Messsystemen.

	Gerät	Ort	Parameter	Periode	Auflösung	Kommentar	
Feinstaub	HVS	Erstfeld	PM2.5	22.01.- 13.09.2021	d <sup>1</sup>	Die Messungen werden zur Korrektur der rohen Fidas-PM2.5-Werte in Erstfeld verwendet.	
		Altdorf	PM10	01.02.- 09.09.2021	d <sup>1</sup>	Die Messungen werden zur alternativen Korrektur der rohen Fidas-PM2.5-Werte in Altdorf verwendet.	
	Fidas	Erstfeld	PM2.5	22.01 - 22.09.2021	d 30-min	mit HVS-Messungen korrigierte Werte	
		Altdorf	PM2.5		d 30-min		
	NuboAir	Erstfeld	Moosbad	PM2.5	<b>22.01.- 02.03.2021</b>	d 30-min	Messperiode 1 (P1) - Vergleich mit Erstfeld
			Eielen	PM2.5	<b>04.03.- 02.05.2021</b>	d 30-min	Messperiode 1 (P2) - Vergleich mit Altdorf
Altdorf			PM2.5	<b>04.05.- 22.09.2021</b>	d 30-min	Messperiode 1 (P3) - Vergleich mit Altdorf	
Meteorologie	Fidas	Altdorf	Temperatur rel. Feuchte Luftdruck	22.01.- 22.09.2021	d 30-min		
	(Meteo Schweiz)		Niederschlag Windrichtung Windstärke				

<sup>1</sup> Messung alle vier Tage

## 2.1. Datengrundlage Meteorologie

Die meteorologischen Daten, welche in diesem Bericht verwendet werden (Tabelle 1), stammen von verschiedenen Quellen:

- Die Temperatur- und Feuchtedaten wurden vom Fidas-Messgeräten in Altdorf gemessen und aus der Airmo-Datenbank bezogen.
- Die Messungen für Niederschlag und Wind stammen von der Meteomesstation in Altdorf (MeteoSchweiz) bzw. wurden von der Airmo-Datenbank bezogen. Die Daten fliessen nicht in die Auswertung ein, sondern dienen als Hintergrundinformation.
- Die Informationen zu den Wetterlagen sind den monatlichen Klimabulletins von MeteoSchweiz entnommen.<sup>4</sup>

Es wird angenommen, dass die Wetterverhältnisse in Erstfeld jeweils nur sehr geringfügig anders waren als in Altdorf.

## 2.2. Datengrundlage PM2.5

Es wurden PM2.5-Daten sowohl auf Tages- als auch Halbstundenbasis verwendet. Die Daten stammen aus der Airmo- (PM2.5 von Fidas Altdorf) und Mona-Datenbank (PM2.5 von Fidas Erstfeld) und die NuboAir Cloud (PM2.5 aus Erstfeld, Moosbad und Eielen gemäss Tabelle 1). Eine Ausnahme bilden die NuboAir-Messdaten von Januar und Februar, welche direkt von Sensirion als Minutenwerte geliefert wurden. Wo notwendig, wurden die Messdaten nachträglich in R Studio (Version 1.4.1717) aggregiert. Dies war der Fall für die manuell gelieferten Minutenwerte aus Erstfeld und alle Tagesmittelwerte. Grund dafür ist, dass zu diesem Zeitpunkt NuboAir-Cloud noch nicht verfügbar war.

## 2.3. Korrektur der Fidas-Werte mit HVS-Daten

Die PM2.5-Werte des Fidas-Messgeräts aus Erstfeld wurden auf Tagesbasis anhand der parallelen gravimetrischen HVS-Werte korrigiert.<sup>5</sup> Dazu wurden sämtliche Messungen vom 01.01. bis 13.09.2021 (letzte vorhandene Datenlieferung) verwendet. Da die HVS-Messung nur jeden vierten Tag durchgeführt wird, wurde die Regression aus 63 Messpunkt-Paaren abgeleitet. Danach wurde diese Regression auch auf die PM2.5-Halbstundenwerte des Fidas-Messgeräts aus Erstfeld angewandt.

In Altdorf ist kein HVS-Gerät in Betrieb, welches parallel zum Fidas-Messgerät gravimetrisch PM2.5 misst. Dadurch ist es nicht möglich, die PM2.5-Messdaten dieses Fidas-Messgerät gemäss Vorgaben zu korrigieren. Als Alternative wurde (1) die gleiche PM2.5-Korrekturregression wie in Erstfeld verwendet und (2) die Korrekturregression für PM10 in Altdorf berechnet.

## 3. Resultate

### 3.1. Meteorologie

Die erste Messperiode von Ende Januar bis Anfang März (Tabelle 1) war geprägt durch trockene Bedingungen und milde Temperaturen. Eine Ausnahme bildete eine kurze Kältewelle Mitte Februar. Am 6. Februar gelangten mit einer Südwest-Höhenströmung hohe Mengen an Saharastaub in die Schweiz. Dieses Phänomen wiederholte sich ab dem 21. Februar. Ende Monat gab es ein Föhnereignis mit rekordhohen Temperaturen und kräftigen Böen.

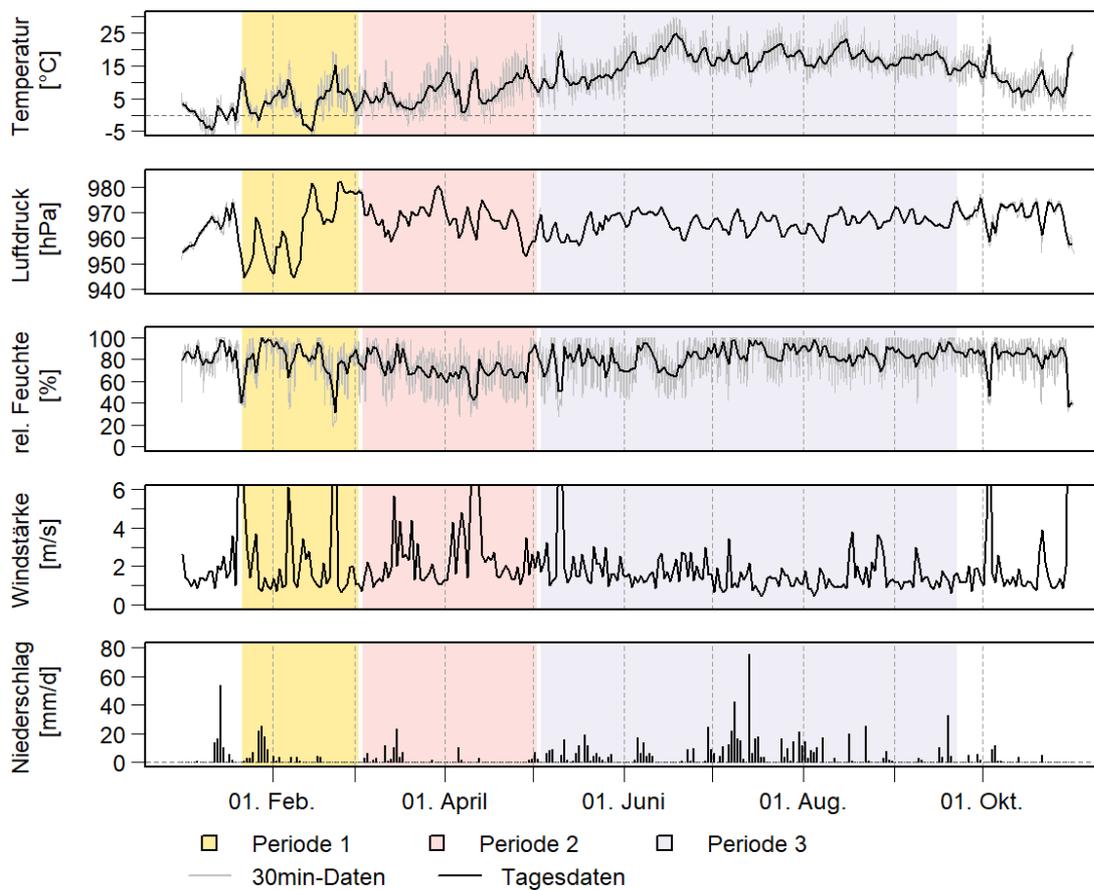
Auch die zweite Messperiode (März und April 2021), während derer das NuboAir-Messgerät in Moosbad stand, war aussergewöhnlich trocken. Mitte März fiel nochmals Schnee, da tagelang kalte Polarluft zu den Alpen floss.

<sup>4</sup> MeteoSchweiz. Monats- und Jahresrückblick. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/monats-und-jahresrueckblick.html>

<sup>5</sup> BAFU (2021). Immissionsmessung von Luftfremdstoffen - Messempfehlungen Stand 2021. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2104. Anhang 2: Referenzierung PM10 und PM2.5, Seite 37. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/immissionsmessung-von-luftfremdstoffen.html>

Der März war aussergewöhnlich föhnarm. Im April, welcher klimatologisch als der Monat mit den meisten Föhnereignissen gilt, kam es vom 9. bis am 11. April zu einer Föhnphase.

Das Phänomen wiederholte sich genau einen Monat später, als das NuboAir-Messgerät bereits in Eielen stand (Messperiode 3). Im Mai blieben die Temperaturen wiederum unter der Norm. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Wochen war der Mai mit fast täglichen Niederschlägen jedoch sehr nass. Im ersten und letzten Junidrittel gab es mehrmals kräftige Gewitter. In der ersten Julihälfte fielen, begünstigt durch eine stabile Südwestlage, rekordhohe Regenmengen. Nach einer kurzen Entspannung endete der Monat wiederum nass. Die Monate August und September waren hingegen unterdurchschnittlich trocken. Die Temperaturen lagen sowohl im Juli als auch im August leicht unter den Normwerten. Mitte August erreichte eine Kaltfront aus Westen die Schweiz. Danach blieben die Temperaturen mehrheitlich unter 20 °C. Der September war sonnig, mild und, abgesehen von Schauern Mitte Monat, unterdurchschnittlich trocken.



**Abbildung 3:** Temperatur, Feuchte, Windstärke und Niederschlag während der drei Messperioden, während denen das NuboAir-Messgerät in Erstfeld, Moosbad bzw. Eielen eingesetzt wurde. Die hier gezeigten Meteodaten wurden in Altdorf gemessen (Temperatur, rel. Feuchte, Luftdruck: Fidas; Wind, Niederschlag: MeteoSchweiz). Schwarze Linien beziehen sich auf Tagesmittel-, graue auf Halbstundenwerte.

### 3.2. Korrektur der Fidas-Daten

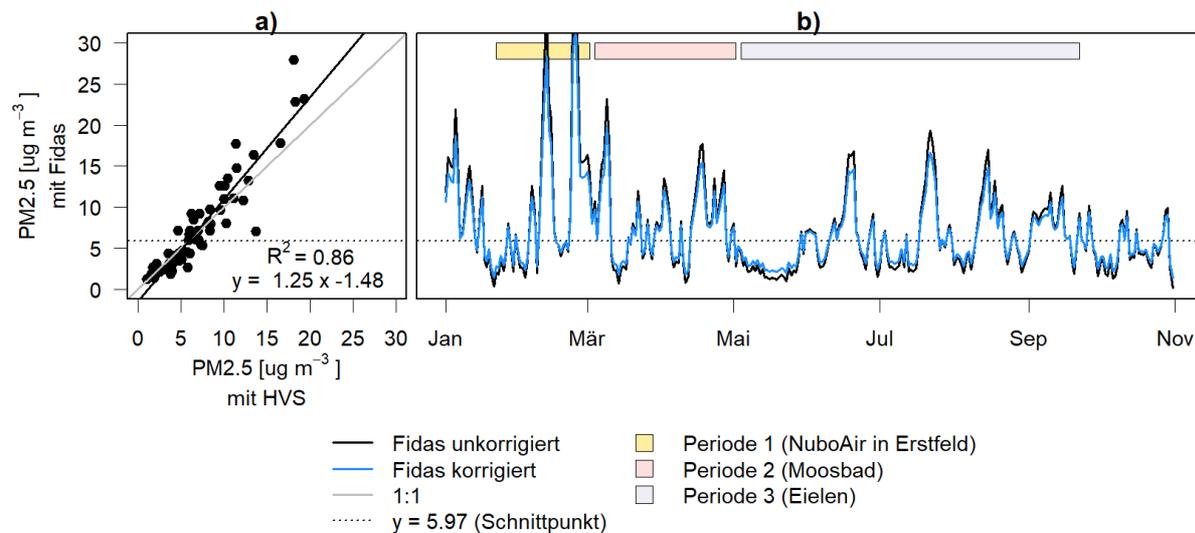
Die Regression, welche aus den PM2.5-Tagesdatenpaaren in Erstfeld resultiert, lautet:

$$(1) \text{Fidas\_korrigiert} = (\text{Fidas\_roh} + 1.48) / 1.25$$

Das heisst, dass hohe PM2.5 Konzentrationen vom Fidas-Messgerät eher zu hoch und tiefe leicht zu tief gemessen wurden. Dies wird in Abbildung 4 ersichtlich, wo in der linken Untergrafik die graue 1:1 Linie die berechnete Regressionslinie bei  $x = y = 5.92$  schneidet. Daher werden in der rechten Grafik Rohwerte über dieser Schnittpunkt-Linie nach unten bzw. Rohwerte unter diesem Wert nach oben korrigiert.

Für die Korrektur der PM2.5-Halbstunden-Daten des Fidas-Messgeräts in Altdorf wurde (1) ebenfalls die oben genannte PM2.5-Korrektur angewandt und (2) die PM10-Korrektur aus Altdorf verwendet. Letztere lautet:

$$(2) \text{Fidas\_korrigiert} = (\text{Fidas\_roh} + 3.40) / 1.42$$



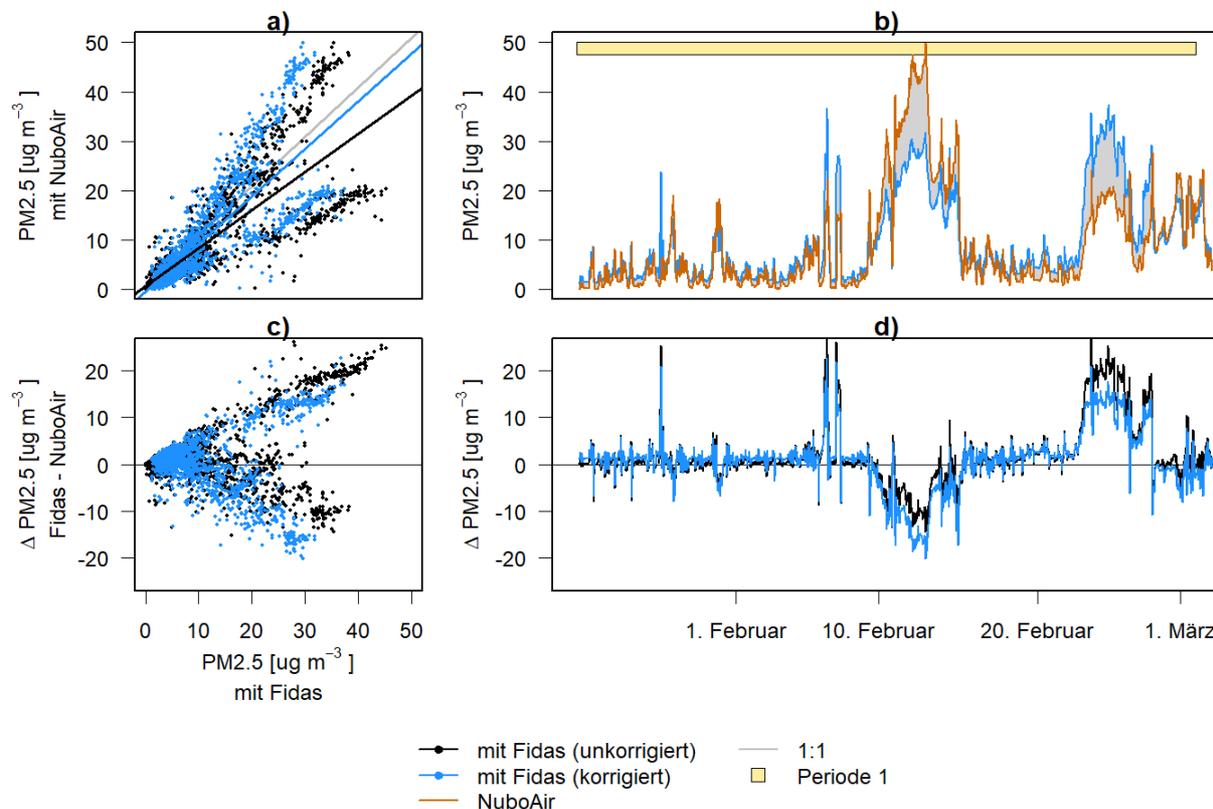
**Abbildung 4:** Resultierende Regression zwischen den gravimetrischen PM2.5-Tageswerten von HVS und denjenigen des Fidas-Messgeräts in Erstfeld (links) sowie die korrigierten und unkorrigierten Fidas-Halbstundenwerte als Zeitreihe von Januar bis Oktober 2021 (rechts). Alle PM2.5-Werte sind in  $\mu\text{g m}^{-3}$  angegeben.

### 3.3. Gerätevergleich

Die PM2.5-Werte der ersten Periode vom NuboAir-Messgerät, welches zu diesem Zeitpunkt in Erstfeld aufgestellt war, wurden mit korrigierten und unkorrigierten Fidas-Messungen verglichen (Abbildung 5). Generell reagierten die PM2.5-Konzentrationsverläufe von NuboAir- und Fidas-Messungen ähnlich (Abbildung 5b). In der Zeitreihe ist kein systematischer Versatz erkennbar. Bei tiefen Werten ( $\text{PM2.5} < 10 \mu\text{g m}^{-3}$ ) misst das NuboAir-Messgerät mehrheitlich tiefer, wodurch die Differenz zwischen den beiden Messmethoden (Fidas minus NuboAir, Abbildung 5d) im positiven Bereich liegen. Dasselbe gilt für das Saharastaubereignis am 6. Februar. Mitte Februar, als die PM2.5-Belastung hoch war, hat das NuboAir-Messgerät hingegen deutlich höher gemessen. Ende Februar, als wiederum hohe PM2.5-Konzentrationen ermittelt wurden, mass das NuboAir-Gerät wesentlich tiefere Werte das Fidas-Messgerät.

Mit der Korrektur der Fidas-Werte rückt die ermittelte Regression der Wertepaare näher an 1:1 Linie (Abbildung 5a). Gleichzeitig scheinen positive Differenzen (Fidas > NuboAir) mit den korrigierten Fidas-Halbstundenwerten kleiner. Im Gegensatz dazu sind die negativen Differenzen (NuboAir > Fidas) kleiner, wenn unkorrigierte Fidas-Werte verwendet werden (Abbildung 5c).

In Tabelle 2 sind die Messwertdifferenzen zwischen dem Fidas- und NuboAir-Messgerät numerisch aufgeführt, und zwar sowohl von den Tages- als auch von den Halbstundenwerten. Dabei zeigt sich, dass die maximal gemessene Abweichung auf Tagesbasis geringer ist als auf Halbstundenbasis. Auch verkleinert sich die Differenz aus methodischen Gründen, wenn anstelle der rohen die korrigierten Fidas-Werte verwendet werden.



**Abbildung 5:** Vergleich von NuboAir-Messdaten mit (korrigierten und unkorrigierten) Werten vom Fidas während der ersten Messperiode in Erstfeld. Dargestellt sind Halbstundendaten.

**Tabelle 2:** Messwertabweichungen von PM2.5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] zwischen NuboAir und Fidas während der ersten Messperiode in Erstfeld.

zeitliche Aggregation	Fidas unkorrigiert [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]		Fidas korrigiert [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]		rel. Abweichung [%]	
	Tag	30 Minuten	Tag	30 Minuten	Tag	30 Minuten
maximale Abweichung	19.7	30.4	16.2 *	22.7	- 18	- 25
mittlere Abweichung (Fidas-NuboAir) **	1.8	1.8	0.8	0.8	- 56	-56
mittlere Abweichung   (Fidas-NuboAir)   ***	3.3	4.0	3.5	4.1	+ 5	+2

\* Der angegebene Tageswert ist eine negative Differenz, d.h. NuboAir > Fidas (gemessen am 12. Februar 2021). Die grösste positive Differenz liegt bei  $13.3 \mu\text{g m}^{-3}$  vom 23. Februar 2021.

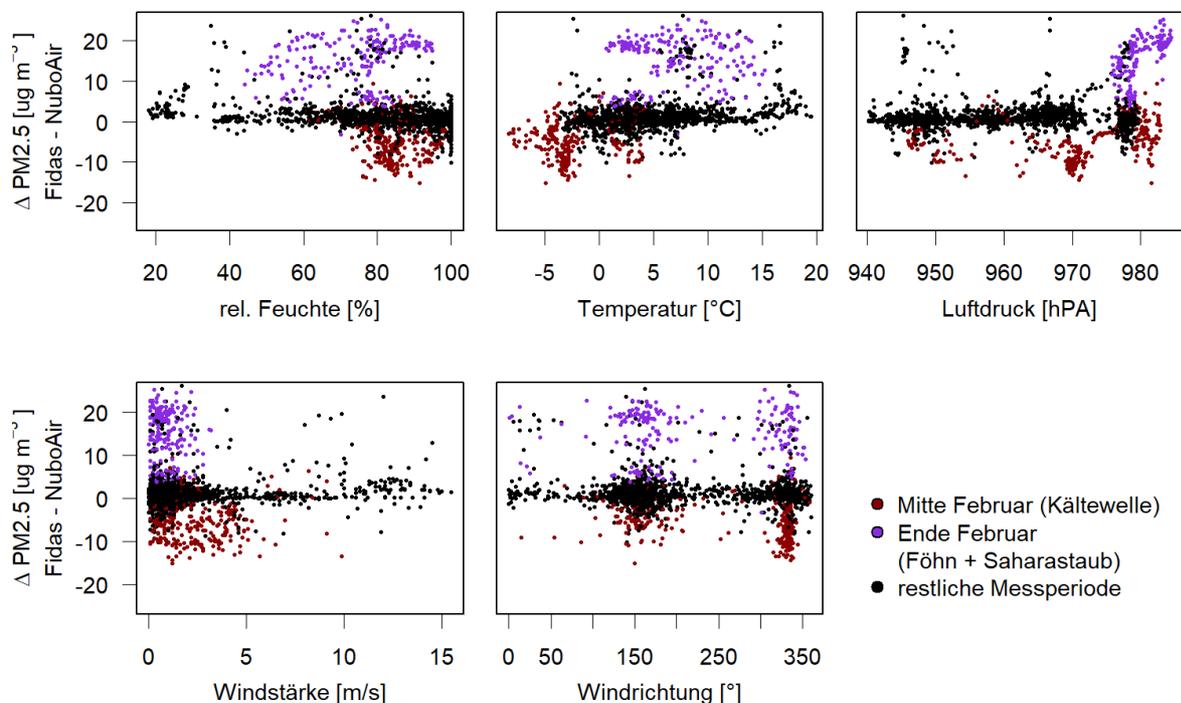
\*\* negative und positive Differenzen gleichen sich teilweise aus

\*\*\* Mittelwert der absoluten Differenzen

Die grössten Differenzen zwischen den beiden Messmethoden mit dem Fidas- und NuboAir-Messgerät waren Mitte und Ende Februar zu sehen, als die PM2.5-Konzentrationen allgemein hoch waren (Tabelle 2, Abbildung 5). Die Lufttemperatur war Mitte Februar sehr tief, wodurch wohl vermehrt geheizt wurde und die PM2.5-Immissionen stiegen. Ende des Monats herrschte eine Föhnlage, wobei gleichzeitig viel Saharastaub in der Luft lag, was die allgemein hohen PM2.5-Werte erklärt.

Die Wetterbedingungen haben eventuell einen Einfluss auf die Messunsicherheit, da dem NuboAir-Messgerät im Gegensatz zum Fidas die interne Trocknung fehlt. Es kann jedoch keine systematische Korrelation zwischen einem einzelnen Wetterparameter und der Messunsicherheit des NuboAir Messgeräts gefunden werden (Abbildung 6, Vergleich mit unkorrigierten Fidas-Messwerten). In der Kältewelle Mitte Februar mass das NuboAir-Messgerät systematisch höher. Ende Februar, während dem Föhn- und Saharastaubevent, lagen die NuboAir-Messwerte deutlich tiefer als diejenigen des Fidas. Bei tiefen Temperaturen kommt es also zu einer Über-, bei Föhnlage mit Saharastaub zu einer Unterbewertung der PM2.5-Konzentration durch das NuboAir-Messgerät.

Es ist möglich, dass es zwischen dem Fidas- und dem NuboAir Messgeräten zu Verschiebungen der gemessenen Fraktionen kommt. Daher sind zukünftig weitere Messungen und Analysen erforderlich.



**Abbildung 6:** Wetterparameter verglichen mit der PM2.5-Differenz [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] zwischen dem (unkorrigierten) Fidas- und dem NuboAir-Messgerät. Die dargestellten Punkte sind Halbstundenwerte. Die Messwerte vom 10.-16. Februar (Kältewelle) sowie vom 23. bis 27. Februar (Föhnlage inkl. Saharastaubeignis) sind farbig markiert. Während diesen beiden Ereignissen wurden die grössten PM2.5-Messunterschiede zwischen NuboAir und Fidas ermittelt. Die Plots mit den korrigierten Fidas-Werten sind im Anhang zu sehen.

### 3.4. Messwertanalyse

Wie schon bei den Messungen in Erstfeld zeigen die PM<sub>2.5</sub>-Messungen des NuboAir grundsätzlich das gleiche zeitliche Verlaufsmuster wie die (unkorrigierten) Fidas-Messwerte (Abbildung 7).

Zwischen dem 23. und 26. April wurde wiederum viel Saharastaub in die Schweiz transportiert. Im Gegensatz zu Ende Februar in Erstfeld, ist diesmal keine signifikante PM<sub>2.5</sub>-Abweichung zwischen den beiden Messmethoden zu sehen (Abbildung 7). Am 18. Juni, bei einem weiteren Saharaevent, unterschätzt das NuboAir die PM<sub>2.5</sub>-Konzentration wieder. Dabei bleibt die PM<sub>2.5</sub>-Belastung und auch die Differenz zwischen den beiden Messmethoden deutlich unter dem Niveau, welches in Erstfeld beobachtet wurde.

Bei den beiden Föhnevents während der Messperioden in Moosbad und Eielen bleiben die PM<sub>2.5</sub>-Werte tief und es ist keine grosse Abweichung zu sehen (Abbildung 7). An beiden Messstandorten wird der gesetzliche PM<sub>2.5</sub>-Jahresmittelgrenzwert von 10 µg m<sup>-3</sup> regelmässig überschritten. Über die ganze Messperiode gesehen, wird er aber sowohl vom NuboAir (9.1 µg m<sup>-3</sup> für Moosbad und 6.3 µg m<sup>-3</sup> für Eielen) als auch vom unkorrigierten Fidas (positioniert in Altdorf mit 9.1 bzw. 6.7 µg m<sup>-3</sup>) eingehalten (Tabelle 3).

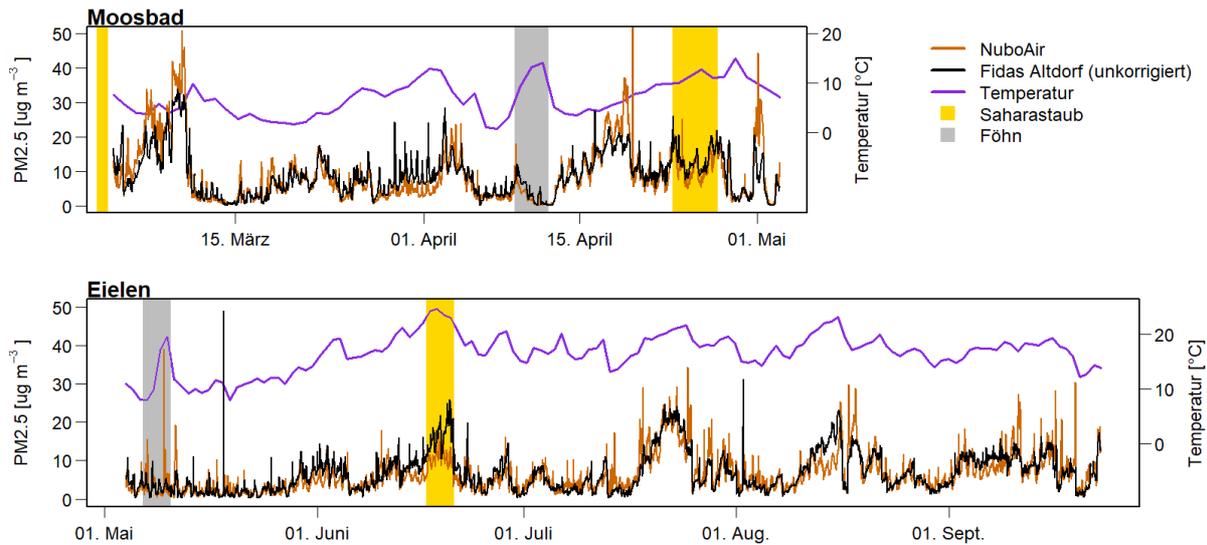
Der gemessene Periodenmittelwert in Erstfeld (9.2 µg m<sup>-3</sup> mit NuboAir (Tabelle 3) liegt etwa gleich hoch wie in Moosbad, aber deutlich höher als in Eielen. Allerdings weist das Fidas-Messgerät Erstfeld für die erste Messperiode leicht höhere, dasjenige in Altdorf für die zweite und dritte Periode (Moosbad und Eielen) leicht tiefere Messwerte auf. Dieser Belastungsgradient (Erstfeld > Moosbad > Eielen) kann einerseits von der Verkehrsbelastung abhängen. Während die Messstation Erstfeld direkt neben der Autobahn liegt, ist Moosbad an einer Hauptstrasse und in der Nähe (ca. 300 m) eines Holzheizwerks für Fernwärme positioniert ist, dessen Einfluss nicht ausgeschlossen werden kann. Eielen hingegen ist ein abgelegener Messstandort und hauptsächlich von der Deponie und vom Kieswerk beeinflusst. Diese beiden Emittenten verursachen aber hauptsächlich Immissionen grösser als die PM<sub>2.5</sub>-Fraktion.

Andererseits hat auch der Zeitpunkt der Messungen einen Einfluss, was in den Tagesgängen sichtbar ist. Während der Messungen in Erstfeld im Februar wurde geheizt und Inversionen vor allem in den Morgenstunden haben wohl dazu geführt, dass die Durchmischung der untersten Luftschicht unterbunden ist und so die Schadstoffe nicht verdünnt oder abtransportiert werden können.<sup>6</sup> Der PM<sub>2.5</sub>-Peak in Erstfeld erscheint so kurz vor Mittag. In Moosbad und Eielen verringern sich die PM<sub>2.5</sub>-Konzentrationen früher am Morgen, was wohl auch mit der erhöhten Verkehrsbelastung am Morgen zu tun hat.

Obwohl die Feuerungsanlage des Moosbades oft weit herum sichtbare Emissionen erzeugt, sind in den NuboAir-Messungen nur vereinzelte ausgeprägte Belastungsspitzen erkennbar. Tägliche Spitzen beispielsweise beim Auffahren der Anlage sind nicht erkennbar.

---

<sup>6</sup> InNET (2018). Inversionswetterlagen und ihr Einfluss auf Luftschadstoffe im Kanton Uri. [https://www.ur.ch/\\_docn/137408/Inversionslagen\\_V3.2.pdf](https://www.ur.ch/_docn/137408/Inversionslagen_V3.2.pdf)



**Abbildung 7:** Vergleich von NuboAir-Messdaten mit unkorrigierten Werten vom Fidas während der zweiten und dritten Messperiode in Moosbad bzw. Eielen. Dargestellt sind Halbstundendaten für PM2.5 und Tagesmittelwerte für den Temperaturverlauf.

**Tabelle 3:** PM2.5 Periodenmittelwerte der einzelnen Messsysteme in  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Die Mittelung erfolgte mit den Halbstundenwerten. Die Fidas-Messgeräte standen in Erstfeld (Vergleich mit NuboAir-Messgerät in Erstfeld) und in Altdorf (Vergleich mit NuboAir-Messgerät in Moosbad und Eielen).

	NuboAir [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	Fidas (unkorrigiert) [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	Differenz <sup>6</sup>	Fidas (korrigiert) <sup>3</sup> [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	Fidas (korrigiert) <sup>4</sup> [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	Fidas (korrigiert) <sup>5</sup> [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]
Erstfeld	9.2	11.0 <sup>1</sup>	1.8 $\mu\text{g m}^{-3}$ = 20%	10.0	-	-
Moosbad	9.1	9.1 <sup>2</sup>	0	-	8.4	8.8
Eielen	6.3	6.7 <sup>2</sup>	0.4 $\mu\text{g m}^{-3}$ = 6 %	-	6.6	7.1

<sup>1</sup> Fidas-Messwerte aus Erstfeld

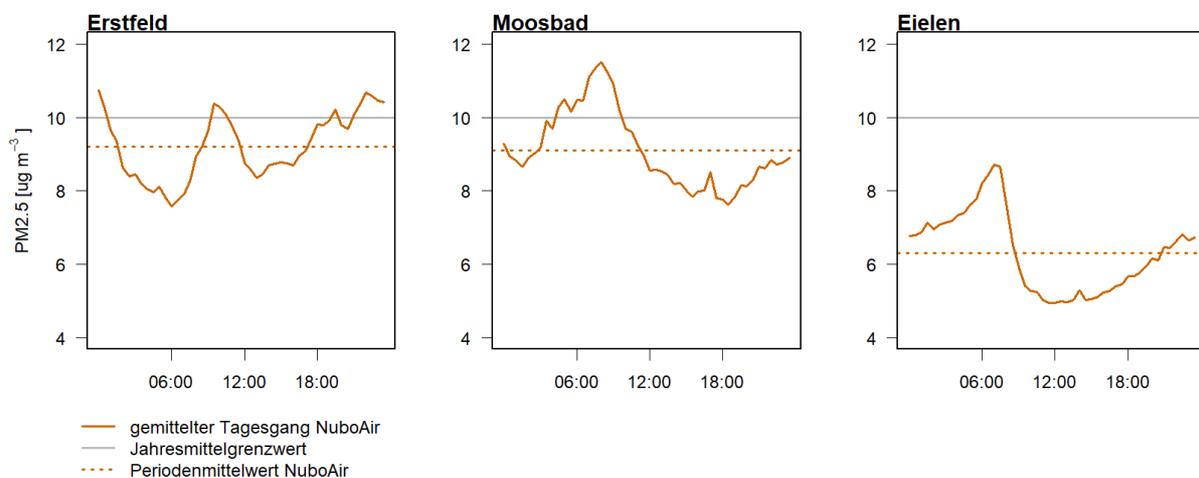
<sup>2</sup> Fidas-Messwerte aus Altdorf

<sup>3</sup> offizielle Korrektur mit PM2.5-Messwerten, welche mit einem HVS am gleichen Standort gemessen wurden (siehe Kapitel 2.3)

<sup>4</sup> alternative Korrektur mit PM2.5-Messwerten, welche mit einem HVS an einem anderen Standort gemessen wurden (Erstfeld anstatt Altdorf).

<sup>5</sup> alternative Korrektur mit PM10-Messwerten, welche mit einem HVS am gleichen Standort (Altdorf) gemessen wurden

<sup>6</sup> Die Angabe in Prozent bezieht sich auf den Messwert des NuboAir



**Abbildung 8:** PM2.5-Tagesgänge der NuboAir-Messungen für die Messungen in Erstfeld, Moosbad und Eielen.

## 4. Diskussion

### 4.1. Benutzerfreundlichkeit des Datenbezugs

Der Datenbezug der mit dem NuboAir-Gerät gemessenen PM2.5-Daten erfolgte über die NuboAir Cloud. Diese weist aber noch Verbesserungspotential auf:

- Der Datenbezug pro Download ist limitiert. Will man z. B. Halbstundenwerte herunterladen, liegt das Maximum bei 138 Tagen. Die Benutzerfreundlichkeit kann erhöht werden, wenn dieses Maximum erhöht wird.
- Der Zeitstempel hängt davon ab, ob das Startdatum in Winter- oder Sommerzeit liegt. Dies kann bei überlappenden Downloads (siehe Punkt 1) verwirrend sein bzw. führt zu einer Verschiebung von einer Stunde im lokalen Zeitstempel.
- Die Berechnung der Tagesmittelwerte scheint fehlerhaft. Deshalb wurden diese im vorliegenden Bericht selbst aus den Halbstundenwerten aggregiert.
- Die Batteriespannung kann momentan nicht abgefragt werden. Dies wäre vor allem in den Wintermonaten hilfreich, um den Solarbetrieb zu überwachen. So ist das Messgerät im Dezember 2021 bei Schneefall ausgestiegen.

Sensirion ist interessiert daran, die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen und testet die implementierten Berechnungen intern nochmals.

### 4.2. Empfehlung für den Anwendungsbereich von NuboAir

Die Messunsicherheit des PM2.5-Periodenmittelwerts im Vergleich zum Fidas-Verfahren (Tabelle 3) lag in Erstfeld bei  $1.8 \mu\text{g m}^{-3}$  bzw. 20 %. Durch die offizielle Korrektur der Fidas-Messwerte mit lokalen PM2.5 HVS-Messungen verringerte sich diese Differenz nochmals. Für das Fidas-Messgerät in Altdorf stand kein paralleles HVS-Messgerät zur Verfügung. In Zukunft sind folgende Möglichkeiten umsetzbar, deren Kosten und Nutzen diskutiert werden müssen:

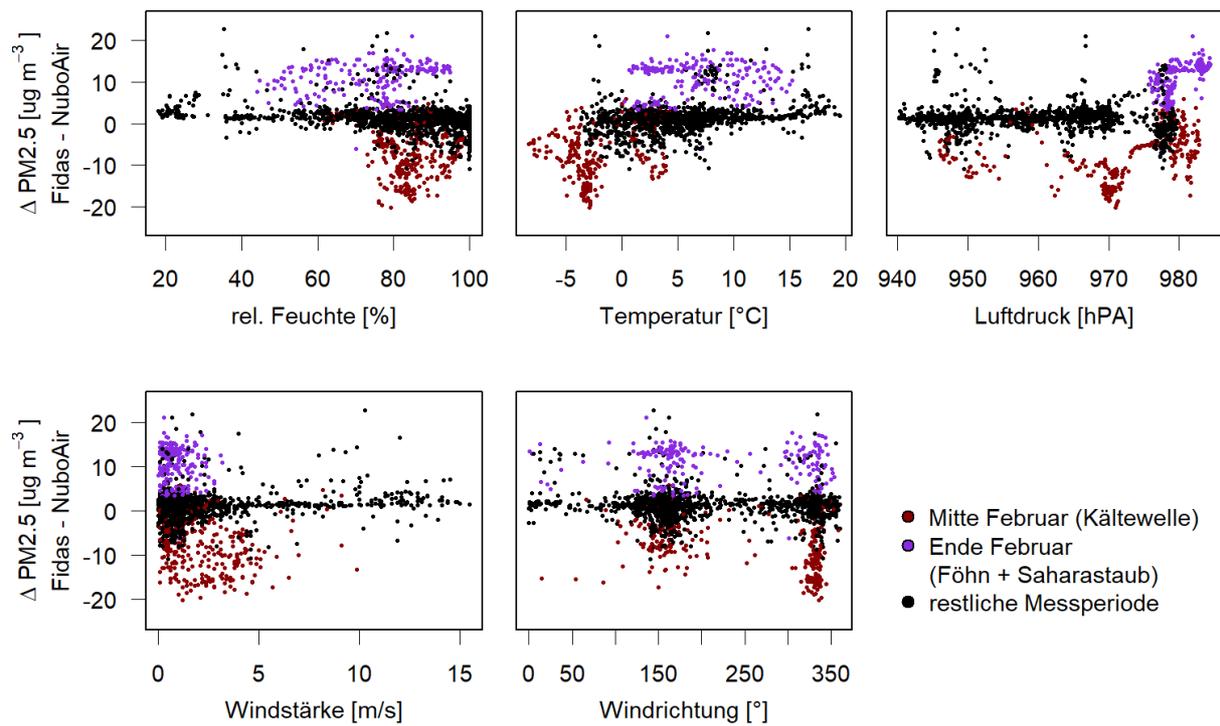
- Betrieb eines HVS-Messgeräts in Altdorf mit PM2.5 Messung (analog zu Erstfeld)
- alternative Korrektur mit PM2.5-Messwerten, welche mit einem HVS an einem anderen Standort gemessen wurden
- alternative Korrektur mit PM10-Messwerten, welche mit einem HVS am gleichen Standort (Altdorf) gemessen wurden

Die beiden alternativen Fidas-Korrekturen wurden in diesem Projekt bereits angewandt, verbesserten die Messunsicherheit aber nicht in jedem Fall (Tabelle 3).

In der vorliegenden Untersuchung konnte kein systematischer Einfluss von einzelnen Wetterparametern auf die Messunsicherheit beobachtet werden. Allerdings sind die Messunsicherheiten bei hoher PM2.5 Belastung, so zum Beispiel bei tiefen Temperaturen und hoher Heitzätigkeit oder bei Saharastaubevents, beträchtlich (bis zu 25 %, Tabelle 2) Es ist mit weiteren Messungen und Datenauswertungen zu klären, was die erklärenden Faktoren für diese Abweichungen sind. Möglicherweise kommt es zu einer Verschiebung der gemessenen Partikelgrößen im Vergleich zum Fidas-Messgerät.

Wir betrachten das NuboAir-Messgerät als geeignet für orientierende Messungen über längere Zeiträume und bei allgemein tiefen bis mittleren PM2.5 Konzentrationen. Für die Evaluierung von einzelnen Peak-Konzentrationen müssen, wie oben erwähnt, weitere Untersuchungen gemacht werden. Aufgrund der doch beachtlichen Differenzen bei höheren Feinstaubkonzentrationen ist ein Ersatz der Fidas-Messgeräte mit NuboAir-Geräten nicht angezeigt. Insbesondere fehlen den NuboAir-Geräten auch weitere Prüfungen (z. B. TÜV oder Äquivalenznachweis).

## 5. Anhang



**Abbildung 9:** Wetterparameter verglichen mit der PM<sub>2.5</sub>-Differenz [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] zwischen dem (**korrigierten**) Fidas- und dem NuboAir-Messgerät. Die dargestellten Punkte sind Halbstundenwerte.