

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2020 AM STANDORT MALBUN
TALSTATION SAREIS



SCHAAN, JUNI 2022 / JÜRGEN BECKBISSINGER, NADJA JAEGGI

8157_Bericht Malbun 2020_V1.1.docx / 8157.01

Acontec AG

Im Bretscha 28
FL-9494 Schaan

Telefon +423 230 07 88
Telefax +423 230 07 89

info@acontec.com
www.acontec.com

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	1
2. GEMESSENE SCHADSTOFFE	2
2.1. Feinstaub PM10.....	2
2.2. Stickoxide	2
2.3. Ozon	2
3. AUFGABE.....	3
4. GRUNDLAGEN	3
4.1. Messstandort	3
4.2. Messgeräte	3
4.3. Qualitätssicherung	4
5. RESULTATE PM10	5
5.1. Tagesmittelwerte	5
5.2. Kurzzeitbelastungen.....	6
5.3. Vergleich mit Immissionsgrenzwerten.....	7
5.4. Jahresverlauf	8
5.5. Wochengang	9
5.6. Tagesgang	9
6. RESULTATE STICKOXIDE	11
7. RESULTATE OZON	14
 ANHÄNGE:	
I ÜBERSICHT MESSDATEN	17
II ÜBERSICHTSKARTE	21

IMPRESSUM:

Herausgeber: Amt für Umwelt Liechtenstein
Inhalt: Acontec AG, Schaan
Messungen: Acontec AG, Schaan
Auswertungen: Nadja Jaeggi, Jürgen Beckbissinger Acontec AG, Schaan
Bericht: Nadja Jaeggi, Jürgen Beckbissinger, Acontec AG, Schaan
Bezug: Amt für Umwelt
Postfach 684
9490 Vaduz
www.au.llv.li

1. ZUSAMMENFASSUNG

Seit 2005 misst das Amt für Umwelt zusätzlich zur festen Messstation bei der Landesbibliothek Vaduz an verschiedenen Standorten kontinuierlich Feinstaub (PM10) mit einer mobilen Messstation. 2011 kam eine Stickstoffdioxidmessung (NO₂) dazu. Im Zeitraum vom 19. Dezember 2019 bis zum 16. Dezember 2020 wurden in Nähe der Talstation Sareis in Malbun kontinuierlich PM10-Immissionsmessungen durchgeführt. Zusätzlich erfolgten am Standort im Wechsel Stickoxid- (Dez. 2019 bis Apr. 2020; Nov. bis Dez. 2020) und Ozonmessungen (Apr. 2020 bis Nov. 2020).

Der PM10-Jahresmittelwert am Standort Malbun lag mit 7 µg/m³ deutlich unter dem Jahresmittelgrenzwert der Liechtensteiner Luftreinhalteverordnung (LRV) von 20 µg/m³.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ wurde in der Messkampagne nicht überschritten, der Kurzzeitgrenzwert wurde somit eingehalten. Der höchste Tagesmittelwert (38 µg/m³) wurde am 26. Januar 2020 gemessen.

Das 0.9-Quantil (die 10 % obersten Messwerte) der PM10-Tagesmittelwerte lag in Malbun bei 14 µg/m³, in Vaduz betrug es 19 µg/m³. Die Mediane der PM10-Tagesmittelwerte lagen in Malbun bei 5 µg/m³ und in Vaduz bei 10 µg/m³.

Beim NO₂ wurde während des Messzeitraums der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von 80 µg/m³ auch nicht überschritten. Der Mittelwert während des gesamten Messzeitraums beträgt 3 µg/m³.

Das 0.95-Quantil der NO₂-Halbstundenmittelwerte lag während des Messzeitraums in Malbun bei 11 µg/m³. In Vaduz betrug das 0.95-Quantil im selben Zeitraum bei 47 µg/m³. Die Mediane lagen bei 2 µg/m³ in Malbun und 13 µg/m³ in Vaduz.

Während des Zeitraums der Ozonmessung in Malbun wurde der Immissionsgrenzwert für das maximale Stundenmittel von 120 µg/m³ eingehalten. Der Immissionsgrenzwert für das 98%-Perzentil der Halbstundenmittelwerte eines Monats (100 µg/m³) ist hingegen mehrmals knapp überschritten worden.

Der Vergleich mit dem Standort Vaduz zeigt, dass während des Messzeitraums die Ozonbelastung in Malbun auf einem deutlich niedrigeren Niveau liegt als in Vaduz. Im Vergleich zum Messstandort in Davos Seehornwald ist die gemessene Ozonbelastung in Malbun ähnlich.

2. GEMESSENE SCHADSTOFFE

2.1. FEINSTAUB PM10

Als Feinstaub (PM10) bezeichnet man Partikel mit einem Durchmesser kleiner 10 μm . Aufgrund ihrer Kleinheit können diese Partikel tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen und gelangen von dort zum Teil in die Lymph- und Blutbahnen. Ihre zerklüftete Struktur ermöglicht die Anlagerung von weiteren giftigen Substanzen. Dieses Schadstoffgemisch besteht aus einer Vielzahl von chemischen Verbindungen mit teils krebserzeugender Wirkung. In erhöhten Konzentrationen kann PM10 in den Atemwegen lokale Entzündungen verursachen. Dies kann zu schwerwiegenden Auswirkungen auf die Gesundheit führen. Husten, Atemnot, Bronchitis und Asthmaanfälle; Atemwegs- und Herzkreislauferkrankungen und damit verbundene Spitaleinweisungen; vorzeitige Todesfälle und Lungenkrebs können die Folge sein.

PM10 ist ein komplexes Gemisch aus festen und flüssigen Teilchen. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Grösse, Form, Farbe, chemischen Zusammensetzung, physikalischen Eigenschaften und ihrer Herkunft bzw. Entstehung. Grundsätzlich wird zwischen primären und sekundären Partikeln unterschieden. Erstere werden als primäre Emissionen direkt in die Atmosphäre abgegeben, letztere entstehen durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen (z.B. Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide).

2.2. STICKOXIDE

Als Stickoxide (NO_x) wird die Summe aus den beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) bezeichnet. Eine wesentliche Quelle für NO_x sind Verbrennungsprozesse. In der Atmosphäre wandelt sich NO rasch ins giftigere NO_2 um, für das es in der Luftreinhalteverordnung (LRV) Immissionsgrenzwerte gibt. Neben direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen beeinflussen NO und NO_2 die Ozonbildung und die Entstehung von sekundärem Feinstaub.

2.3. OZON

Ozon (O_3) ist ein stechend riechendes, farbloses Gas und wird als Sekundärstoff in der Atmosphäre gebildet. Die wichtigsten Vorläuferstoffe von Ozon sind Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen. Problematisch für Menschen, Tiere und Pflanzen ist das bodennahe Ozon. Als starkes Oxidationsmittel und Reizgas wirkt es aggressiv auf menschliches, tierisches und pflanzliches Gewebe sowie Materialien. Ozon kann über weite Distanzen verfrachtet werden. Daher können auch fernab von Quellen seiner Vorläufersubstanzen

erhöhte Ozonbelastungen auftreten. Die durchgeführte Ozonmessung in Malbun dient zur Informationsgewinnung der Belastungssituation in einer höheren, ländlichen Lage in Liechtenstein, die wenig durch Vorläufersubstanzen beeinflusst ist.

3. AUFGABE

Im Rahmen seines gesetzlichen Auftrags zur Überwachung der Luftverunreinigungen nach Artikel 26 der LRV hat das Amt für Umwelt die Acontec AG, Schaan, beauftragt an einem vorgegebenen Standort kontinuierliche PM₁₀-, NO₂- und O₃-Messungen durchzuführen. Dies geschieht neben dem beschriebenen Messstandort auch an der OSTLUFT Messstation bei der Landesbibliothek in Vaduz. Der Standort der Messung wird jeweils nach aktuellen Fragestellungen bestimmt.

4. GRUNDLAGEN

4.1. MESSSTANDORT

Nach der Messung im Jahr 2019 an der Essanestrasse in Eschen wurden vom 19. Dezember 2019 bis zum 16. Dezember 2020 in Malbun kontinuierliche Immissionsmessungen mit der mobilen Messstation vorgenommen. Die Messstation befand sich in Nähe der Talstation Sareis (Parzelle Nr. 513). Der Abstand zur Strasse betrug ca. 25 m (vgl. Orthofoto im Anhang II). Die Strasse ist im Winter nur bis zum Wendepplatz (Bushaltestelle Malbun Zentrum) befahrbar. Die Ansaughöhe lag auf ca. 2.5 m Höhe.

4.2. MESSGERÄTE

Feinstaub PM₁₀

Die Messung der Feinstaubkonzentration erfolgte kontinuierlich mit einem Staubmessgerät Modell 5030 SHARP mit PM₁₀-Messkopf. Der Monitor macht sich zwei unterschiedliche Messprinzipien zu nutze. Die in der Aussenluft vorhandenen Feinstaubpartikel werden auf einem Filter abgeschieden. Die abgeschiedene Partikelmasse wird durch die Abschwächung einer β -Strahlenquelle gemessen. Das Gerät verfügt zudem über ein hochempfindliches Lichtstreuungsphotometer, dessen Ausgangssignal fortlaufend auf die zeitlich gemittelten Messungen eines integrierten Beta-Abschwächungs-Massenmessers referenziert wird. Die Messwerte werden als Halbstundenmittelwerte erfasst.

Stickoxide

Die Messung der Stickoxide, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, erfolgte kontinuierlich mit einem NO_x-Analysator des Typs MLU 200A (Messprinzip: Chemilumineszenz; Konverter: Molybdän). Die Messwerte werden ebenfalls als Halbstundenmittelwerte erfasst.

Ozon

Die kontinuierliche Ozonmessung wurde mit einem Ozonanalysator HORIBA APOA 360. Das Messprinzip basiert auf der UV-Absorption von Ozon. Die Messwerte wurden als Halbstundenmittelwerte erfasst.

4.3. QUALITÄTSSICHERUNG

Die PM10-Messdaten wurden täglich und die NO_x- sowie O₃-Messdaten ca. 14-tägig plausibilisiert. Einmal pro Woche erfolgte eine Auswertung der PM10-Messdaten. Die Resultate wurden im Sinne eines Wochenberichtes dem Amt für Umwelt übermittelt und in der Folge auf der Homepage des Amtes veröffentlicht. Zirka alle 14 Tage wurden im Rahmen eines Stationsbesuches kleinere periodische Wartungsarbeiten durchgeführt. Umfangreichere Wartungsarbeiten sowie Kalibrationen der Messgeräte erfolgten quartalsweise.

Auf eine bei kontinuierlichen Feinstaubmessungen häufig durchgeführte Parallelmessung mit dem Standardverfahren (gravimetrische Methode) wurde aus Kostengründen verzichtet. Erfahrungen an anderen Messstandorten haben gezeigt, dass mit dem eingesetzten Gerätetyp in den meisten Fällen vertretbar gute Übereinstimmungen zum Standardverfahren erreicht werden.

Bei Messstandorten über 1'500 m.ü.M. erfolgt die Konzentrationsumrechnung von ppb auf µg/m³ unter Berücksichtigung des langjährigen Jahresmittels der Lufttemperatur- und Luftdruckdaten der jeweiligen Station. Sind keine Daten bzw. keine langjährigen Jahresmittel vorhanden, können die Werte von vergleichbaren Stationen entnommen werden. Für die Umrechnung wurden Messdaten aus Malbun (Jahr 2020) sowie die langjährigen Jahresmittel des Vergleichsstandorts Davos Seehornwald verwendet. Der berechnete Umrechnungsfaktor von ppb auf µg/m³ beträgt für Ozon 1.74 und für NO₂ 1.67.

Die Anforderungen zur Jahresmittelwertbildung gemäss der Empfehlung „Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen“ des BAFU aus dem Jahr 2021 (Anzahl gültige Messwerte: 90% der Halbstundenmittelwerte; kein Ausfall von mehr als 10 aufeinanderfolgenden Tagen) wurden bei der Feinstaubmessung eingehalten. Da die Ozon- und Stickoxidmessung jeweils nur für 6 Monate erfolgte, kann kein Jahresmittel gebildet werden.

5. RESULTATE PM10

Im folgenden Kapitel werden, in Anlehnung an die bisherigen Jahresberichte, die Resultate der Feinstaubmessungen dargestellt. In Kapitel 6 und 7 folgen die Ergebnisse der Stickoxid- und Ozonmessungen.

5.1. TAGESMITTELWERTE

Eine Übersicht aller Tagesmittelwerte kann dem Anhang 1 entnommen werden. In Abbildung 1 ist der Verlauf der Tagesmittelwerte der gesamten Messperiode dargestellt. Während des Messzeitraumes wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Malbun nie überschritten. Der höchste Tagesmittelwert ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde am 26. Januar 2020 gemessen. Tagesmittelwerte über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ traten am Standort Malbun an 9 Tagen auf. In Kapitel 5.2 (Kurzzeitbelastungen) wird auf einen der Einflussfaktoren, die zur Feinstaubbelastung am Standort beitrugen, genauer eingegangen. Die mittlere Belastung im Zeitraum zwischen dem 19. Dezember 2019 und 16. Dezember 2020 beträgt $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Langzeit-Immissionsgrenzwert (Jahresmittel) von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde somit deutlich eingehalten. Am Standort Vaduz Landesbibliothek wurde im selben Zeitraum eine höhere PM10-Konzentration von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

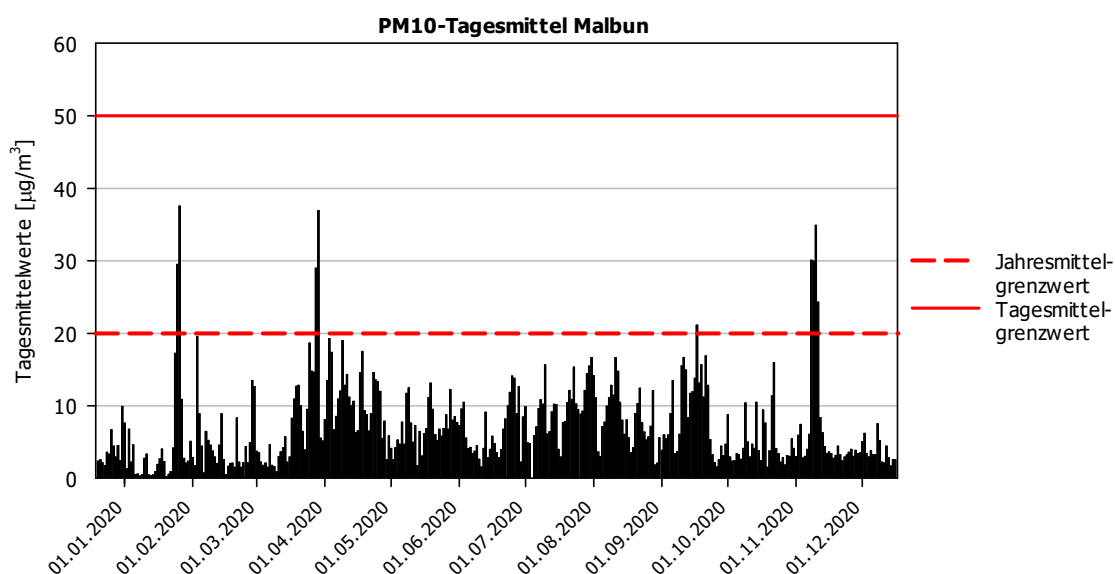


Abbildung 1 Tagesmittelwerte Dezember 2019 bis Dezember 2020 am Standort Malbun

Auf dem Quantilplot (Abbildung 2) ist nochmals gut ersichtlich, dass die Konzentrationen am Standort Vaduz höher waren als in Malbun. Das 0.9-Quantil beträgt in Malbun $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10 % der Tagesmittelwerte höher als $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$

sind. In Vaduz liegt das 0.9-Quantil bei $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Median (0.5-Quantil) beträgt $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Malbun bzw. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Vaduz.

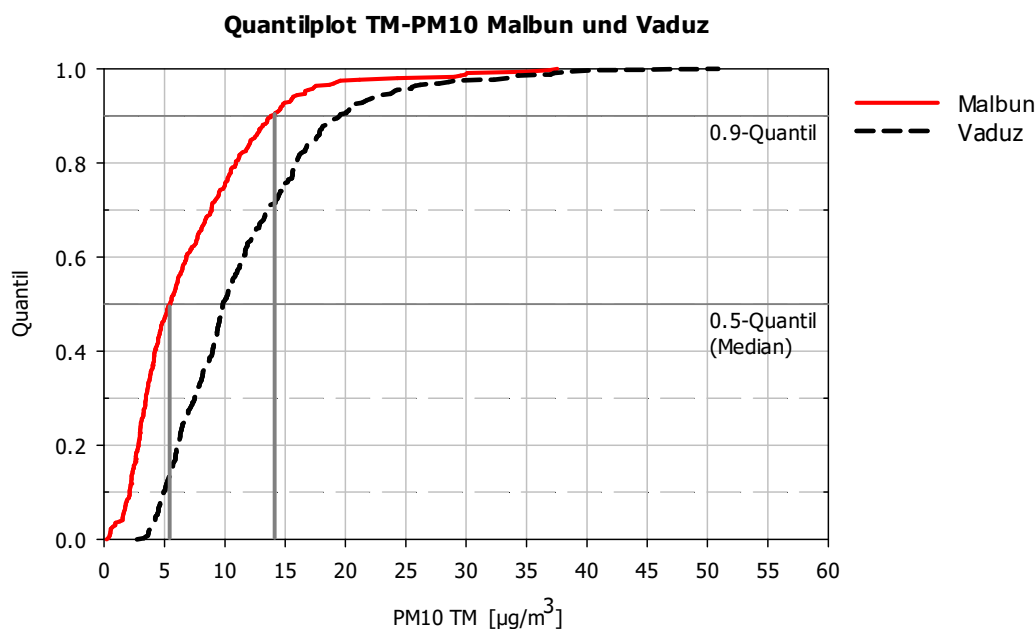


Abbildung 2 Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte Dezember 2019 bis Dezember 2020 an den Standorten Malbun und Vaduz

5.2. KURZZEITBELASTUNGEN

Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 5 % der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden während lediglich 0.4 % der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 3).

Es gibt für kurzzeitige Feinstaubbelastungen (Halbstundenmittelwerte) keinen Grenzwert.

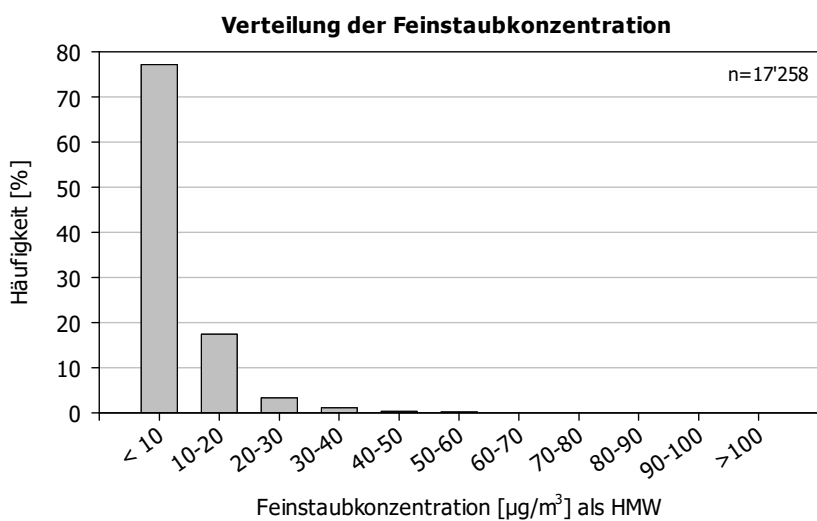


Abbildung 3 Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) Dezember 2019 bis Dezember 2020 am Standort Malbun

Am Messstandort sind kurzzeitig erhöhte Feinstaubbelastungen eher selten (siehe auch Abbildung 3). Es gab jedoch Tage, an denen vergleichsweise hohe Feinstaubkonzentrationen gemessen wurden.

In Abbildung 4 ist ein Beispiel für die Auswirkungen von Saharastaubereignissen auf die Feinstaubbelastung ersichtlich. Ende Januar 2020 wurde Saharastaub von der Algerischen Sahara nach Liechtenstein verfrachtet. Der Saharastaub führte mitunter zu einem deutlichen Anstieg der Feinstaubkonzentration in Malbun. Auch in der Messstation Vaduz und bei einigen Messstationen in der Schweiz wurden aufgrund des Saharastaubereignisses erhöhte Feinstaubbelastungen registriert. Während dem geschilderten Zeitraum wurde der höchste Tagesmittelwert während der gesamten Messzeit registriert.

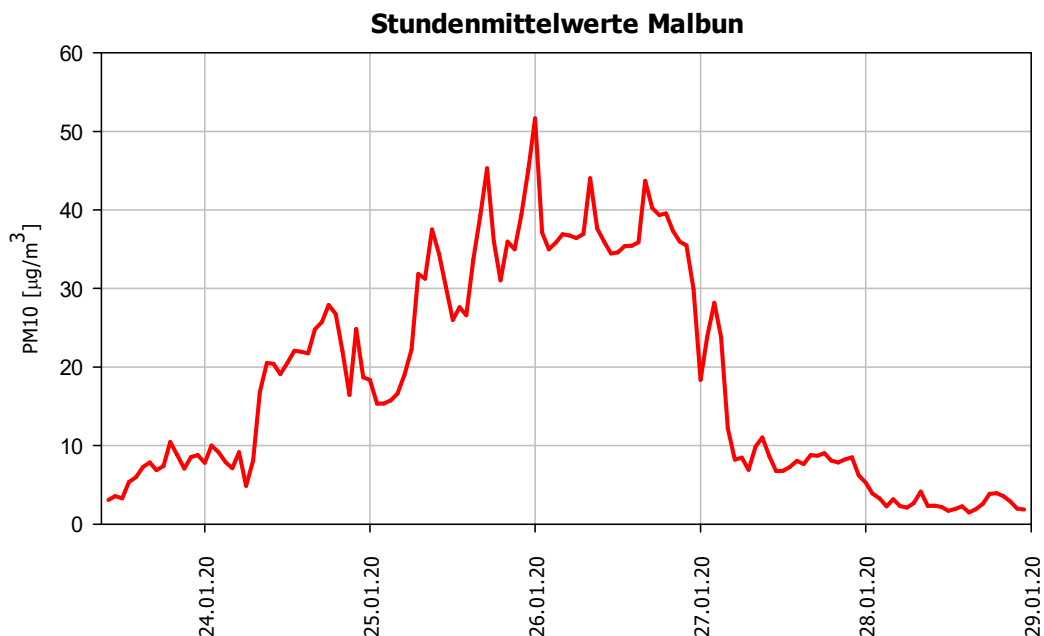


Abbildung 4 Auszug PM10-Stundenmittelwerte Malbun

5.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde mit einem Jahresmittelwert von $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Messstandort Malbun deutlich unterschritten. Mit keinem Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde auch der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von maximal drei Überschreitungen pro Jahr eingehalten. In Tabelle 1 sind die Resultate in Bezug auf die jeweiligen Grenzwerte grafisch dargestellt.

Tabelle 1 Übersicht der relevanten PM10-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

Standort	JMW [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Max. TMW [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anzahl Tage >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Malbun	7	38	0
Vaduz ¹⁾	12	51	1
Immissionsgrenzwert	20	-	3

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

5.4. JAHRESVERLAUF

In Abbildung 5 sind Boxplots der PM10-Halbstundenmittelwerte vom Dezember 2019 bis Dezember 2020 ersichtlich. Die monatlichen Boxplots der Standorte Malbun und Vaduz zeigen insbesondere in den Wintermonaten in Hinblick auf den Verlauf, das Belastungsniveau (Median und Mittelwert) und die Streuung der Messwerte deutliche Unterschiede auf. Die PM10-Belastung in Malbun ist im Vergleich zum Standort Vaduz während dieser Zeit auf einem konstant tiefen Niveau.

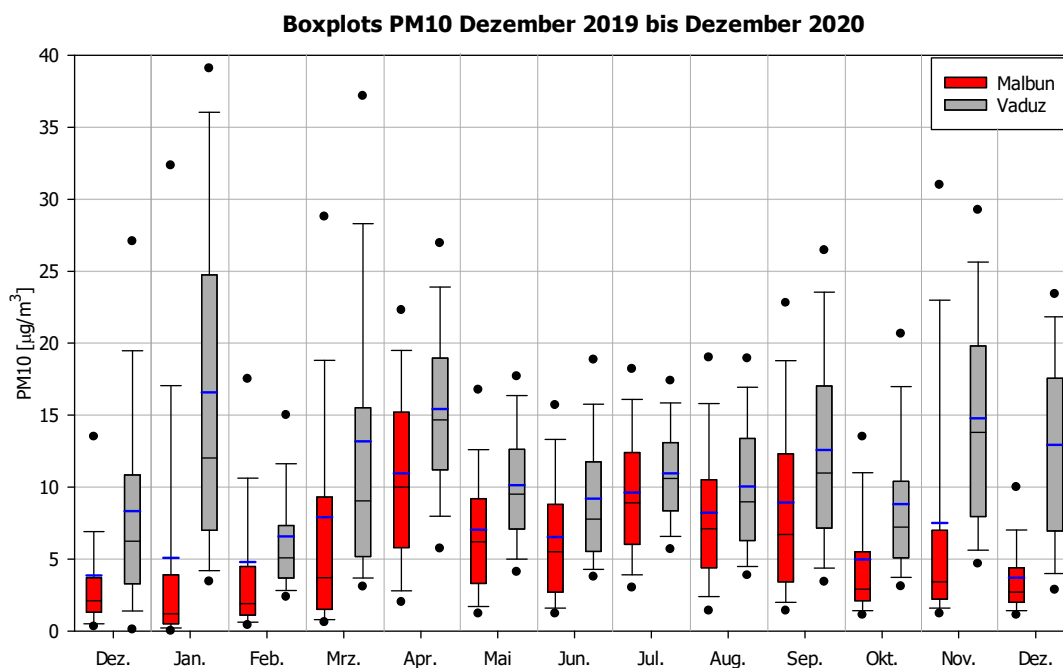


Abbildung 5 Boxplots der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Malbun und Vaduz während der Messperiode Dezember 2019 bis Dezember 2020. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.95-Quantil des Monats Februar am Standort Vaduz liegt bei 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 95 % der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.5. WOCHENGANG

In Abbildung 6 sind die Wochengänge der Messstandorte Malbun und Vaduz Landesbibliothek dargestellt. In Malbun ist kein ausgeprägter Wochengang ersichtlich. Die PM10-Konzentration (Mittelwert) steigt mit fortschreitender Woche marginal an, wobei die Belastung am Samstag ihren Höhepunkt erreicht. Sonntags nimmt die Feinstaubkonzentration jeweils wieder ab. In Vaduz ist die Feinstaubbelastung im Durchschnitt am Mittwoch am höchsten. Am Sonntag wird mit durchschnittlich $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die niedrigste Konzentration erreicht. An beiden Messstandorten ist die Feinstaubbelastung am Tag der höchsten Konzentration um 30 % höher als am Tag der geringsten Belastung.

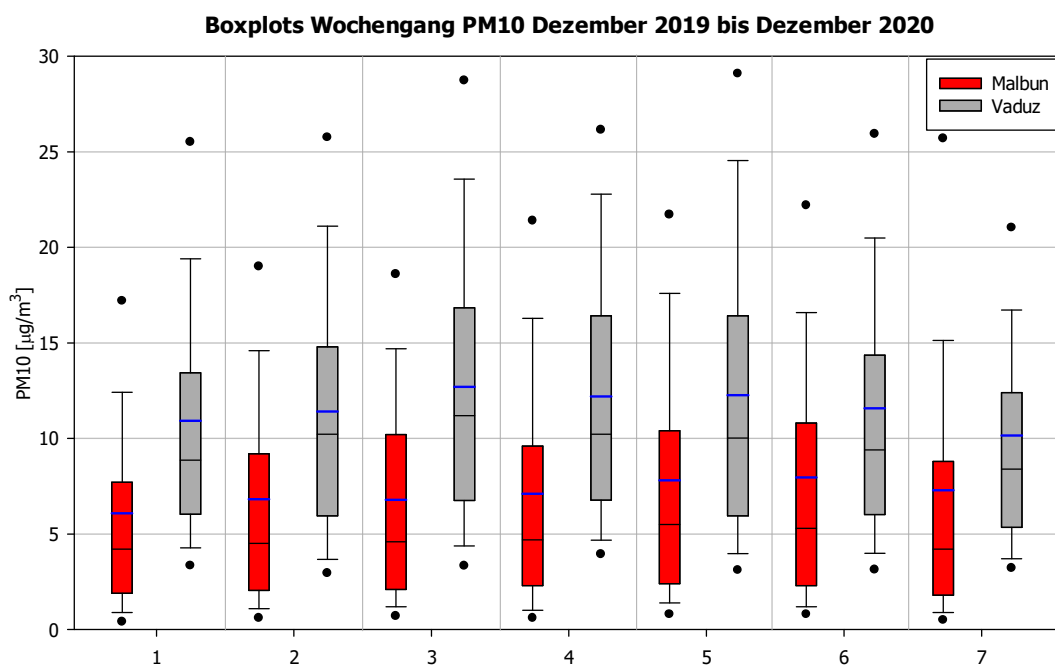


Abbildung 6 Boxplots nach Wochentagen (1: Montag; 7: Sonntag) der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Malbun und Vaduz während der Messperiode Dezember 2019 bis Dezember 2020. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.90-Quantil der Sonntage am Standort Malbun liegt bei $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 90 % der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.6. TAGESGANG

In den Abbildungen Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Tagesgänge der Standorte Malbun und Vaduz im Winter und im Sommer dargestellt. In Malbun findet an Werk- und Sonntagen gegen Abend jeweils ein grösserer Konzentrationsanstieg statt. Im Winter wird das Belastungsmaximum durchschnittlich zwischen 17:00 bis 18:00 Uhr erreicht, im Sommer erst um ca. 20:00 bis 21:00 Uhr. Gründe für den Belastungsanstieg an kühlen Tagen könnten Holzfeuerungen in der Umgebung sein. Diese gehören zu den Hauptemittenten von Feinstaub.

Weitere Feinstaubquellen sind zudem der Strassenverkehr, landwirtschaftliche Aktivitäten sowie natürliche Quellen wie beispielsweise der erwähnte Saharastaub.

Der Belastungsverlauf in Vaduz unterscheidet sich insbesondere in den Sommermonaten deutlich von dem in Malbun.

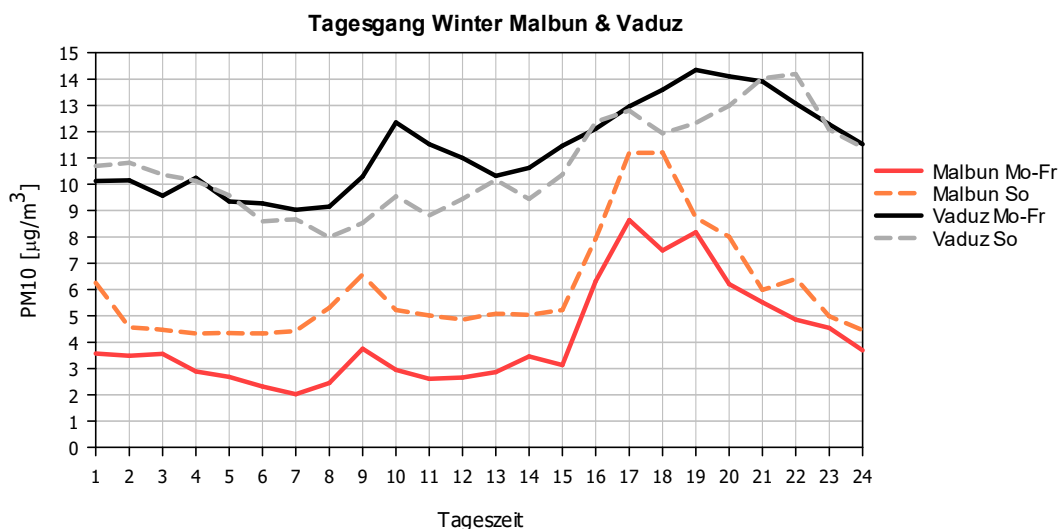


Abbildung 7 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung an den Standorten Malbun und Vaduz im Winter (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2019 bis und mit Februar 2020 an Werktagen (Montag bis Freitag) und Sonntagen)

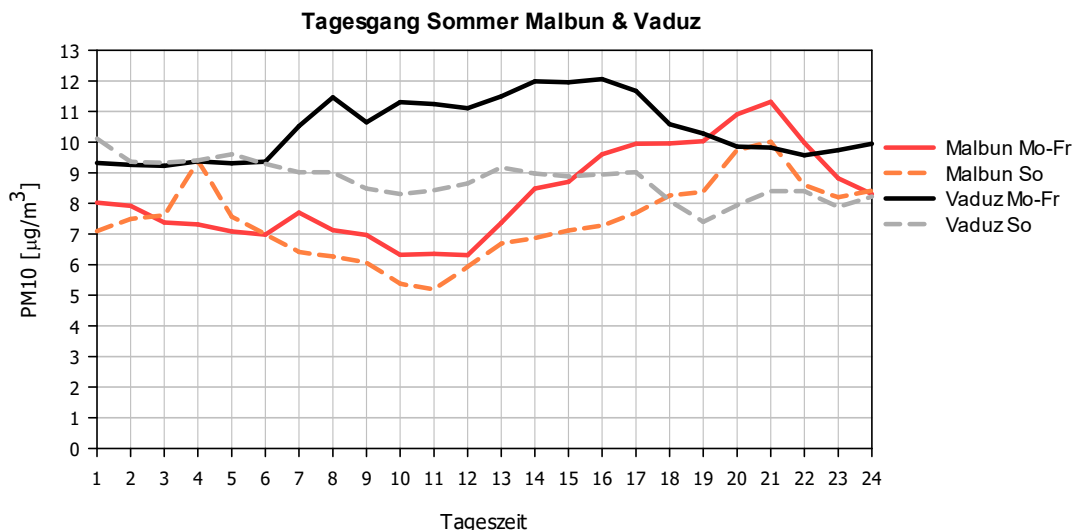


Abbildung 8 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung an den Standorten Malbun und Vaduz im Sommer (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Juni 2020 bis und mit August 2020 an Werktagen (Montag bis Freitag) und Sonntagen)

6. RESULTATE STICKOXIDE

In Tabelle 2 sind die Messergebnisse der durchgeführten Stickoxidmessungen aufgeführt. Aufgrund des verkürzten Messzeitraums von ca. 5 ½ Monaten können die Messresultate der Station Malbun nicht mit den geltenden Langzeitgrenzwerten von 30 µg/m³ für das Jahresmittel und 100 µg/m³ für das 0.95-Quantil der Halbstundenmittelwerte eines Jahres verglichen werden. Zum Vergleich und Einordnung der Resultate sind zusätzlich die jeweiligen Ergebnisse desselben Messzeitraums der Station Vaduz dargestellt. Während des Messzeitraums wurde weder in Malbun noch in Vaduz der Tagesmittelgrenzwert von 80 µg/m³ überschritten. Die Mittelwertdifferenz von 16 µg/m³ zeigt, dass sich die Belastungssituation an beiden Standorten stark unterscheidet. Der Messstandort in Malbun ist deutlich weniger vom Strassenverkehr, der zu den wichtigsten Stickoxidquellen zählt, beeinflusst als der in Vaduz.

Tabelle 2 Übersicht der relevanten NO₂-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten (Messzeitraum: 19.12.2019 – 24.04.2020 und 12.11.2020 – 16.12.2020)

Standort	Mittelwert [µg/m ³]	95%-Perzentil [µg/m ³]	Max. TMW [µg/m ³]	Tage >80 µg/m ³ [Tage]
Malbun	3	11	13	0
Vaduz ¹⁾	19	47	47	0
Immissionsgrenzwert	n.a.	n.a.	-	1

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft
n.a.: Nicht anwendbar

Der Vergleich der NO₂-Tagesmittelwerte sowie der monatlichen Boxplots der Halbstundenmittelwerte (siehe Abbildung 9) zeigt klar, dass während des Messzeitraums die Belastung in Malbun konstant auf einem deutlich niedrigeren Niveau lag als in Vaduz.

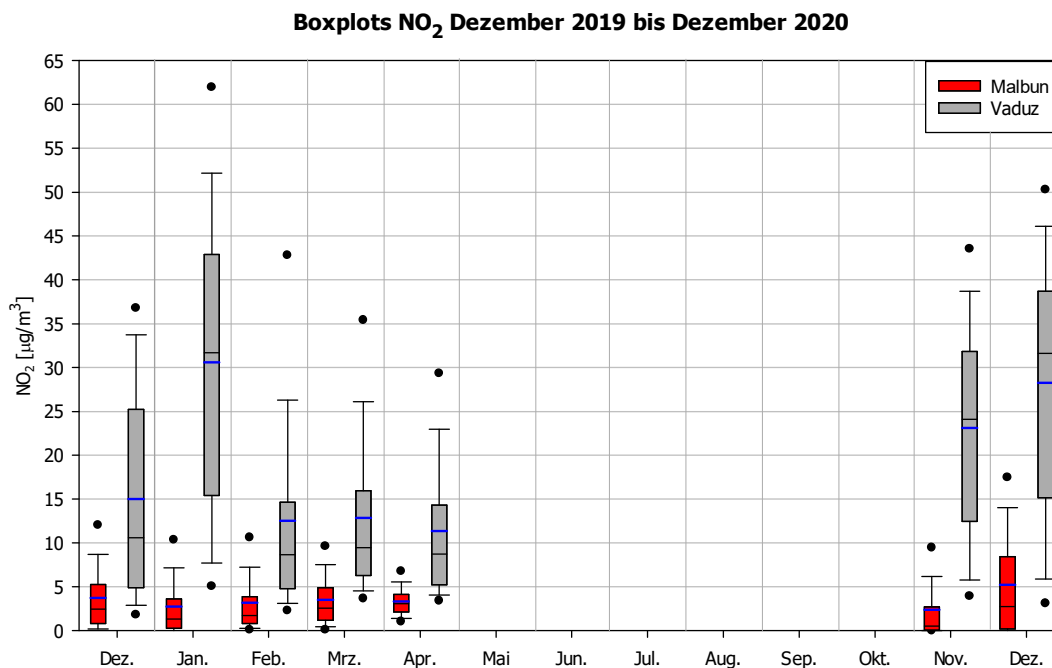


Abbildung 9 Boxplots der NO₂-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Malbun und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2019 bis April 2020 und November bis Dezember 2020. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.75-Quantil des Monats März am Standort Malbun liegt bei 5 µg/m³, d.h. 75% der erfassten Halbstundenmittelwerte lagen im Februar unter 5 µg/m³.

In Abbildung 10 sind die mittleren NO₂-Tagesgänge während des Messzeitraums dargestellt. In Malbun sind im Gegensatz zu Vaduz nur geringe Konzentrationsschwankungen während des Tagesverlaufs feststellbar. Die Stickstoffdioxidkonzentration liegt in Malbun an Werk- und Sonntagen auf einem konstant niedrigen Niveau. In Vaduz ist ein Unterschied zwischen dem Tagesgängen an Werk- und Sonntagen erkennbar. An Sonntagen ist an diesem Standort morgens kein deutlicher Konzentrationsanstieg, so wie es an Werktagen der Fall ist, erkennbar.

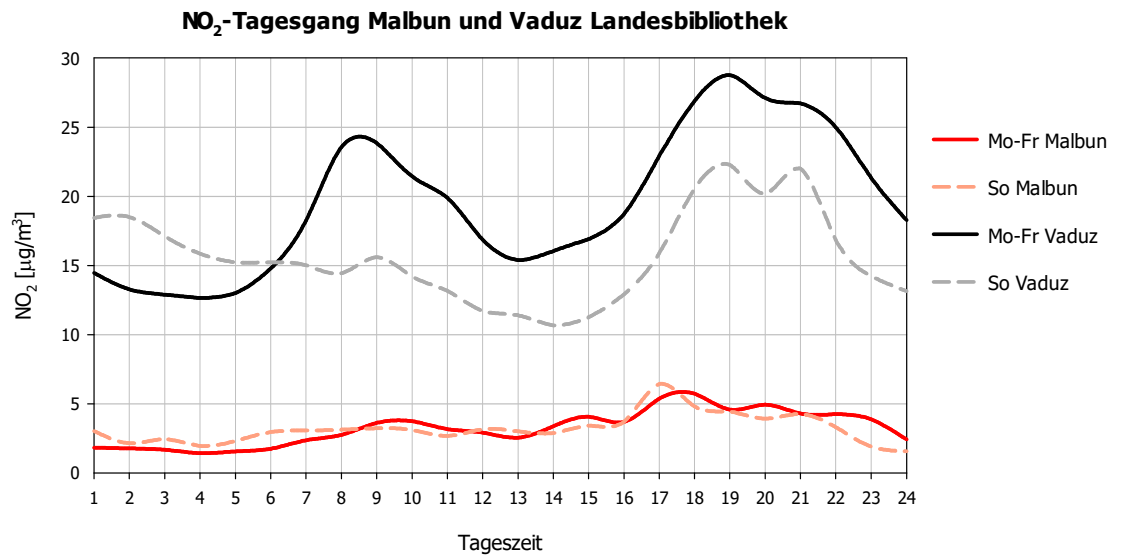


Abbildung 10 Mittlerer Tagesgang der NO₂-Belastung an den Standorten Malbun und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden; Messzeitraum: 19.12.2019 – 24.04.2020 und 12.11.2020 – 16.12.2020)

7. RESULTATE OZON

Bezüglich Ozon sind in der Luftreinhalteverordnung Grenzwerte für das Stundenmittel sowie für die monatlichen 98%-Perzentile der Halbstundenmittelwerte festgelegt. Die in Malbun über das Sommerhalbjahr gemessenen Ozonkonzentrationen werden mit den Werten aus Vaduz und denen der Station Davos Seehornwald verglichen. Die Station in Davos befindet sich an einem ländlichen Standort in ca. 1'600 m.ü.M. Sie liegt etwa 3 km vom Zentrum Davos entfernt. Aufgrund der ähnlichen Höhenlage und Topografie wurde diese Station als zusätzlicher Vergleichsstandort hinzugezogen.

In Abbildung 11 sind die monatlichen Boxplots der Halbstundenmittelwerte der Standorte Malbun und Vaduz dargestellt. Hier zeigt sich, dass im Gegensatz zu den monatlichen 98%-Perzentilen (siehe Tabelle 4) und 95%-Perzentilen, die mittlere Ozonbelastung in Malbun höher ausfällt als in Vaduz. Auch die Streuung der gemessenen Ozon-Halbstundenmittelwerte ist in Malbun geringer. Hier sieht man u.a. bei den Minima (5%- und 10%-Perzentile), dass der Ozonabbau in Malbun in den Nachtstunden geringer ausfällt als in Vaduz. Grund dafür könnte zum einen der in höheren Lagen verstärkt vorkommende vertikale Luftaustausch mit höheren Luftschichten sein. Dies führt zu einer erhöhten Einmischung von Ozon aus höheren Luftschichten in die gemessene Luft, was zu einer grösseren Grundbelastung an Ozon führt. Ein weiterer Grund könnte die geringere Verkehrsbelastung in Malbun sein. Ozon wird in den Nachtstunden hauptsächlich durch Stickstoffmonoxid (NO), das zu einem Grossteil vom Strassenverkehr emittiert wird, abgebaut. Ist ein Standort nur wenig vom Verkehr beeinflusst findet somit der Ozonabbau durch NO in einer geringeren Masse statt.

In Abbildung 12 sind die erwähnten verminderten Konzentrationsabnahmen in der Nacht und den frühen Morgenstunden in Malbun gut ersichtlich.

Boxplots O₃ Mai 2020 bis Oktober 2020

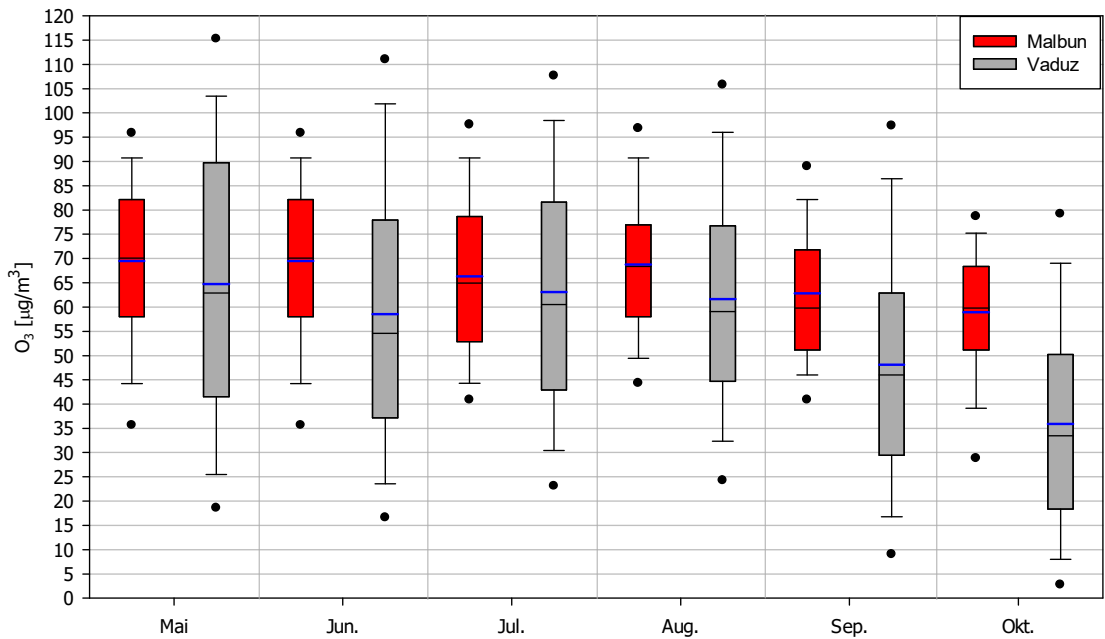


Abbildung 11 Boxplots der Ozon-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Malbun und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Mai 2020 bis Oktober 2020. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.9-Quantil des Monats Oktober am Standort Malbun liegt bei 75 µg/m³, d.h. 90% der erfassten Halbstundenmittelwerte lagen im Februar unter 75 µg/m³.

Verlauf Stundemittelwerte Ozon

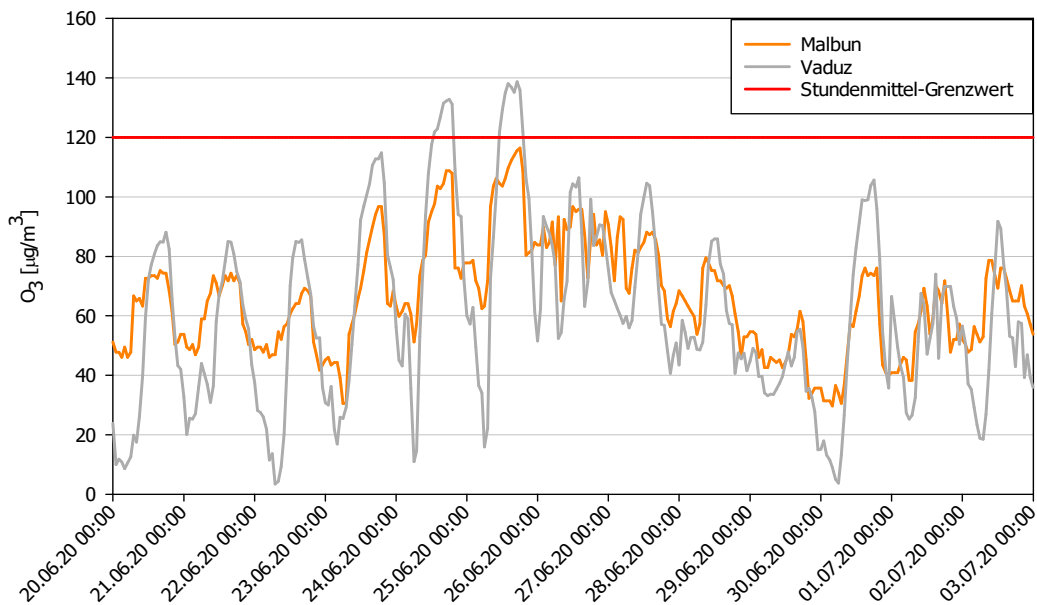


Abbildung 12 Verlauf Stundemittelwerte Ozon an den Messstandorten Malbun und Vaduz (Zeitraum: 20.06.2020 bis 03.07.2020)

In Tabelle 3 sind die maximalen Stundenmittelwerte sowie die Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwerts von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aufgeführt. Während des Messzeitraums wurde in Malbun der erwähnte Kurzzeit-Immissionsgrenzwert eingehalten. Am 25.06.2020 wurde das maximale Stundenmittel des Messzeitraums registriert ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auch in Davos wurde im selben Messzeitraum der Kurzzeit-Grenzwert eingehalten. In Vaduz kam es wiederum zwischen dem 25.04.20 und 11.11.20 regelmässig zu Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwerts von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 3 Übersicht Stundenmittelwerte (SMW) Ozon vom 25.04.20 bis 11.11.20

Standort	Max. SMW [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	SMW > $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Anz.]
Malbun	117	0
Vaduz ¹⁾	146	82
Davos Seehornwald ²⁾	111	0
Immissionsgrenzwert	120	1³⁾

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

²⁾ Quelle: Messergebnisse 2020 NABEL (BAFU 2021)

³⁾ Der Immissionsgrenzwert (Stundenmittel) von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden

In Tabelle 4 sind die 98%-Perzentile der Ozon-Halbstundenmittelwerte der Standorte Malbun, Vaduz und Davos aufgeführt. In Malbun liegen die ermittelten 98%-Perzentile auf einem niedrigeren Niveau als in Vaduz. Im Vergleich zum ähnlich hoch gelegenen Messstandort Davos ist die Differenz der 98%-Perzentile geringer.

An allen Messstandorten wurde der Immissionsgrenzwert für das monatliche 98%-Perzentil an mehreren Monaten überschritten. In Vaduz fallen die Überschreitungen am höchsten aus.

Tabelle 4 98%-Perzentile¹⁾ Ozon [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Malbun, Vaduz und Davos von Mai 2020 bis Oktober 2020

	Malbun	Vaduz ²⁾	Davos Seehornwald ³⁾
Mai	101	121	99
Juni	104	125	100
Juli	104	122	101
August	104	124	98
September	99	111	93
Oktober	87	89	80
Immissionsgrenzwert	100		

¹⁾ 98% der Halbstundenmittelwerte eines Monats

²⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

³⁾ Quelle: Messergebnisse 2020 NABEL (BAFU 2021)

Es ist anzumerken, dass in Bezug auf die Immissionsgrenzwerte keine abschliessende Beurteilung durchgeführt werden kann, da in Malbun Ozon nicht ganzjährig gemessen wurde. Der Vergleich mit dem Standort Vaduz deutet jedoch darauf hin, dass in Hinblick auf die Spitzenwerte die Ozonbelastung in Malbun auf einem geringeren Niveau liegt.

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte (TMW) sowie maximaler Stundemittelwert (max. SMW) Ozon [µg/m³]

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
19.12.19	3	1	---
20.12.19	2	2	---
21.12.19	3	5	---
22.12.19	2	3	---
23.12.19	2	5	---
24.12.19	4	3	---
25.12.19	3	6	---
26.12.19	7	3	---
27.12.19	4	8	---
28.12.19	3	5	---
29.12.19	5	3	---
30.12.19	2	3	---
31.12.19	10	3	---
01.01.20	8	4	---
02.01.20	1	1	---
03.01.20	7	4	---
04.01.20	2	7	---
05.01.20	5	3	---
06.01.20	1	2	---
07.01.20	1	3	---
08.01.20	1	2	---
09.01.20	1	3	---
10.01.20	3	3	---
11.01.20	3	3	---
12.01.20	1	3	---
13.01.20	1	1	---
14.01.20	1	2	---
15.01.20	1	4	---
16.01.20	2	2	---
17.01.20	3	2	---
18.01.20	4	5	---
19.01.20	2	4	---
20.01.20	1	1	---
21.01.20	1	1	---
22.01.20	1	2	---
23.01.20	4	1	---
24.01.20	17	4	---
25.01.20	30	3	---
26.01.20	38	4	---
27.01.20	11	1	---

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
28.01.20	3	---	---
29.01.20	2	---	---
30.01.20	2	---	---
31.01.20	5	---	---
01.02.20	3	---	---
02.02.20	2	---	---
03.02.20	20	---	---
04.02.20	9	---	---
05.02.20	4	5	---
06.02.20	1	2	---
07.02.20	6	3	---
08.02.20	5	3	---
09.02.20	5	2	---
10.02.20	4	2	---
11.02.20	3	3	---
12.02.20	2	4	---
13.02.20	5	1	---
14.02.20	9	8	---
15.02.20	3	3	---
16.02.20	1	2	---
17.02.20	2	3	---
18.02.20	2	3	---
19.02.20	2	2	---
20.02.20	2	3	---
21.02.20	8	4	---
22.02.20	2	5	---
23.02.20	2	3	---
24.02.20	2	4	---
25.02.20	4	5	---
26.02.20	2	3	---
27.02.20	5	2	---
28.02.20	14	5	---
29.02.20	13	1	---
01.03.20	4	4	---
02.03.20	4	3	---
03.03.20	2	5	---
04.03.20	2	3	---
05.03.20	2	1	---
06.03.20	2	4	---
07.03.20	5	6	---

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
08.03.20	2	3	---
09.03.20	2	4	---
10.03.20	1	2	---
11.03.20	3	3	---
12.03.20	4	3	---
13.03.20	4	5	---
14.03.20	6	4	---
15.03.20	2	1	---
16.03.20	3	1	---
17.03.20	8	2	---
18.03.20	11	4	---
19.03.20	13	1	---
20.03.20	13	3	---
21.03.20	10	5	---
22.03.20	6	4	---
23.03.20	4	3	---
24.03.20	10	3	---
25.03.20	19	4	---
26.03.20	15	5	---
27.03.20	15	4	---
28.03.20	29	4	---
29.03.20	37	5	---
30.03.20	6	5	---
31.03.20	5	3	---
01.04.20	8	3	---
02.04.20	14	4	---
03.04.20	19	5	---
04.04.20	17	5	---
05.04.20	7	3	---
06.04.20	9	2	---
07.04.20	11	3	---
08.04.20	12	3	---
09.04.20	19	4	---
10.04.20	13	4	---
11.04.20	14	3	---
12.04.20	11	2	---
13.04.20	10	3	---
14.04.20	11	4	---
15.04.20	6	2	---
16.04.20	7	2	---

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte (TMW) sowie maximaler Stundemittelwert (max. SMW) Ozon [µg/m³]

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
17.04.20	15	4	---
18.04.20	18	3	---
19.04.20	9	3	---
20.04.20	9	4	---
21.04.20	7	4	---
22.04.20	9	2	---
23.04.20	15	4	---
24.04.20	14	3	---
25.04.20	13	---	100
26.04.20	12	---	94
27.04.20	5	---	87
28.04.20	8	---	85
29.04.20	3	---	77
30.04.20	6	---	84
01.05.20	4	---	72
02.05.20	3	---	80
03.05.20	4	---	87
04.05.20	5	---	74
05.05.20	5	---	84
06.05.20	8	---	85
07.05.20	5	---	98
08.05.20	12	---	98
09.05.20	12	---	101
10.05.20	8	---	104
11.05.20	5	---	95
12.05.20	7	---	64
13.05.20	2	---	89
14.05.20	6	---	55
15.05.20	3	---	49
16.05.20	6	---	59
17.05.20	7	---	94
18.05.20	11	---	108
19.05.20	13	---	113
20.05.20	10	---	84
21.05.20	6	---	93
22.05.20	5	---	87
23.05.20	7	---	97
24.05.20	6	---	81
25.05.20	7	---	78
26.05.20	9	---	91

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
27.05.20	7	---	87
28.05.20	12	---	102
29.05.20	8	---	84
30.05.20	8	---	88
31.05.20	8	---	82
01.06.20	7	---	91
02.06.20	10	---	94
03.06.20	10	---	111
04.06.20	6	---	93
05.06.20	4	---	86
06.06.20	4	---	59
07.06.20	3	---	50
08.06.20	4	---	68
09.06.20	5	---	63
10.06.20	3	---	71
11.06.20	2	---	79
12.06.20	4	---	98
13.06.20	9	---	95
14.06.20	3	---	78
15.06.20	4	---	67
16.06.20	6	---	70
17.06.20	5	---	73
18.06.20	4	---	79
19.06.20	3	---	79
20.06.20	4	---	75
21.06.20	7	---	74
22.06.20	8	---	69
23.06.20	10	---	97
24.06.20	12	---	109
25.06.20	14	---	117
26.06.20	14	---	97
27.06.20	9	---	93
28.06.20	13	---	80
29.06.20	2	---	61
30.06.20	8	---	76
01.07.20	10	---	72
02.07.20	5	---	79
03.07.20	5	---	69
04.07.20	---	---	73
05.07.20	6	---	70

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
06.07.20	7	---	67
07.07.20	10	---	79
08.07.20	11	---	88
09.07.20	10	---	83
10.07.20	16	---	100
11.07.20	6	---	74
12.07.20	6	---	80
13.07.20	9	---	92
14.07.20	10	---	113
15.07.20	10	---	98
16.07.20	4	---	55
17.07.20	3	---	70
18.07.20	8	---	86
19.07.20	8	---	86
20.07.20	10	---	104
21.07.20	12	---	103
22.07.20	11	---	97
23.07.20	15	---	96
24.07.20	10	---	104
25.07.20	9	---	81
26.07.20	9	---	74
27.07.20	9	---	90
28.07.20	12	---	100
29.07.20	14	---	74
30.07.20	15	---	94
31.07.20	17	---	113
01.08.20	14	---	112
02.08.20	11	---	102
03.08.20	4	---	72
04.08.20	3	---	76
05.08.20	7	---	69
06.08.20	8	---	80
07.08.20	10	---	90
08.08.20	11	---	104
09.08.20	13	---	99
10.08.20	11	---	105
11.08.20	17	---	113
12.08.20	15	---	106
13.08.20	11	---	88
14.08.20	8	---	86

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte (TMW) sowie maximaler Stundemittelwert (max. SMW) Ozon [µg/m³]

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
15.08.20	6	---	79
16.08.20	8	---	90
17.08.20	6	---	92
18.08.20	4	---	84
19.08.20	4	---	72
20.08.20	9	---	85
21.08.20	10	---	95
22.08.20	12	---	80
23.08.20	8	---	68
24.08.20	6	---	75
25.08.20	5	---	75
26.08.20	6	---	85
27.08.20	7	---	82
28.08.20	12	---	92
29.08.20	2	---	81
30.08.20	2	---	77
31.08.20	6	---	62
01.09.20	4	---	73
02.09.20	6	---	74
03.09.20	5	---	86
04.09.20	6	---	63
05.09.20	9	---	98
06.09.20	13	---	61
07.09.20	3	---	66
08.09.20	4	---	66
09.09.20	6	---	76
10.09.20	16	---	101
11.09.20	17	---	87
12.09.20	15	---	87
13.09.20	8	---	77
14.09.20	12	---	83
15.09.20	12	---	90
16.09.20	14	---	117
17.09.20	21	---	104
18.09.20	13	---	97
19.09.20	16	---	90
20.09.20	11	---	88
21.09.20	17	---	79
22.09.20	13	---	78
23.09.20	5	---	67

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
24.09.20	3	---	80
25.09.20	2	---	81
26.09.20	2	---	70
27.09.20	3	---	71
28.09.20	4	---	61
29.09.20	3	---	57
30.09.20	5	---	74
01.10.20	9	---	73
02.10.20	3	---	91
03.10.20	2	---	95
04.10.20	2	---	80
05.10.20	3	---	63
06.10.20	3	---	68
07.10.20	3	---	68
08.10.20	4	---	71
09.10.20	10	---	71
10.10.20	5	---	68
11.10.20	3	---	68
12.10.20	5	---	68
13.10.20	4	---	61
14.10.20	10	---	67
15.10.20	4	---	54
16.10.20	2	---	33
17.10.20	9	---	49
18.10.20	8	---	57
19.10.20	2	---	74
20.10.20	4	---	79
21.10.20	11	---	75
22.10.20	16	---	79
23.10.20	4	---	80
24.10.20	3	---	69
25.10.20	2	---	75
26.10.20	3	---	75
27.10.20	2	---	74
28.10.20	3	---	74
29.10.20	3	---	68
30.10.20	5	---	72
31.10.20	4	---	72
01.11.20	3	---	62
02.11.20	6	---	52

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
03.11.20	7	---	55
04.11.20	3	---	74
05.11.20	3	---	43
06.11.20	4	---	65
07.11.20	6	---	68
08.11.20	30	---	67
09.11.20	30	---	68
10.11.20	35	---	77
11.11.20	24	---	57
12.11.20	8	2	---
13.11.20	6	6	---
14.11.20	4	1	---
15.11.20	3	1	---
16.11.20	4	3	---
17.11.20	3	3	---
18.11.20	3	6	---
19.11.20	3	3	---
20.11.20	4	3	---
21.11.20	3	1	---
22.11.20	2	1	---
23.11.20	3	2	---
24.11.20	3	3	---
25.11.20	4	1	---
26.11.20	4	3	---
27.11.20	3	3	---
28.11.20	4	1	---
29.11.20	3	1	---
30.11.20	4	3	---
01.12.20	5	7	---
02.12.20	6	8	---
03.12.20	3	6	---
04.12.20	3	3	---
05.12.20	4	8	---
06.12.20	3	13	---
07.12.20	3	4	---
08.12.20	8	3	---
09.12.20	5	9	---
10.12.20	2	7	---
11.12.20	2	2	---
12.12.20	4	5	---

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte (TMW) sowie maximaler Stundemittelwert (max. SMW) Ozon [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
13.12.20	3	3	---
14.12.20	2	2	---

	TMW		Max. SMW
	PM10	NO ₂	O ₃
15.12.20	3	3	---
16.12.20	3	1	---

--- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert bzw. sind keine Messdaten vorhanden

ANHANG II

Messtandort



Quelle: Geodatenportal llv.li