

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2022 IN ESCHEN



SCHAAN, JULI 2024 / JÜRGEN BECKBISSINGER, NADJA JAEGGI

8157_Bericht Eschen 2022_V1.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 |
| 3. AUFGABE..... | 3 |
| 4. GRUNDLAGEN | 3 |
| 4.1. MESSSTANDORT | 3 |
| 4.2. MESSGERÄTE | 3 |
| 4.3. QUALITÄTSSICHERUNG | 4 |
| 5. RESULTATE PM10 | 5 |
| 5.1. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN | 5 |
| 5.2. JAHRESVERLAUF UND TAGESMITTELWERTE | 5 |
| 5.3. WOCHENGANG..... | 8 |
| 5.4. TAGESGANG..... | 9 |
| 5.5. KURZZEITBELASTUNGEN | 12 |
| 6. RESULTATE STICKOXIDE | 13 |
| ANHÄNGE: | |
| I TAGESMITTELWERTE | 18 |
| 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, Patrizia Cengiz-Hagspiel 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 stationären Messstation in Vaduz an verschiedenen Standorten kontinuierlich Feinstaub (PM10) mit einer mobilen Messstation. Im Jahr 2011 kam eine Stickstoffdioxidmessung (NO₂) dazu. Im Zeitraum vom 22. Dezember 2021 bis zum 13. Dezember 2022 wurden an der Essanestrasse in Eschen kontinuierliche PM10- und NO₂-Immissionsmessungen durchgeführt.

Der PM10-Jahresmittelwert am Standort Eschen Essanestrasse liegt mit 18 µg/m³ unter dem Jahresmittelgrenzwert der Liechtensteiner Luftreinhalteverordnung (LRV) von 20 µg/m³.

Auch der Langzeit-Immissionsgrenzwert für NO₂ von 30 µg/m³ wird mit einem Jahresmittelwert von 18 µg/m³ eingehalten.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ wurde während der Messkampagne dreimal überschritten. Dieser Kurzzeitgrenzwert, der gemäss LRV höchstens dreimal pro Jahr überschritten werden darf, wird somit knapp eingehalten. Das höchste Tagesmittel (58 µg/m³) wurde am 18. März 2022 gemessen.

Der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert für NO₂ von 80 µg/m³ wird mit einem maximalen Tagesmittel von 49 µg/m³, gemessen am 27. Januar 2022, ebenfalls eingehalten.

Das 0.9-Quantil der PM10-Tagesmittelwerte liegt in Eschen bei 33 µg/m³. Der Median beträgt 16 µg/m³.

Das 0.9-Quantil der NO₂-Tagesmittelwerte beträgt am Standort Eschen 33 µg/m³ und in Vaduz 23 µg/m³, die Mediane liegen bei 16 µg/m³ in Eschen und 9 µg/m³ in Vaduz.

2. GEMESSENE SCHADSTOFFE

2.1. FEINSTAUB PM10

Als PM10 oder Feinstaub 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 Herz-Kreislaufkrankungen 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.

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- und NO₂-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 den Messungen in Triesenberg im Jahr 2021, wurden vom 22. Dezember 2021 bis zum 13. Dezember 2022 an der Essanestrasse Eschen kontinuierliche Immissionsmessungen mit der mobilen Messstation vorgenommen. Die Messstation befand sich auf dem Grundstück der Firma Marxana beim Eintrachtkreisel in Eschen (vgl. Luftbild im Anhang II). Der Abstand zum Fahrbahnrand betrug ca. 2 m. 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.

4.3. QUALITÄTSSICHERUNG

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

Auf eine bei kontinuierlichen Feinstaubmessungen häufig durchgeführte Parallelmessung mit dem Standardverfahren (gravimetrische Methode) wird 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.

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) werden eingehalten.

5. RESULTATE PM10

Im Folgenden sind die Resultate der Feinstaubmessungen dargestellt.

5.1. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird mit einem Jahresmittelwert von $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Eschen knapp eingehalten. Der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert (Tagesmittelgrenzwert) konnte mit drei Überschreitungen eingehalten werden. Grund für die Überschreitung des Tagesmittelgrenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ waren zumeist Saharastaubereignisse, die zu erhöhten Feinstaubbelastungen führten. In Tabelle 1 sind die Resultate in Bezug auf die jeweiligen Grenzwerte dargestellt.

Als Vergleichsstandort dient die wenig verkehrsbeeinflusste Messstation in Vaduz. Da in Vaduz nicht die PM10- sondern lediglich die PM2.5-Konzentration kontinuierlich gemessen und verifiziert wird, handelt es sich bei den aufgeführten Vaduzer PM10-Daten um mit einem standortspezifischen Umrechnungsfaktor (PM2.5 zu PM10) bereinigte PM2.5-Messwerte. Die berechneten PM10-Werte stammen aus der Ostluft-Datenbank.

In der Tabelle 1 sind zusätzlich die Ergebnisse verkehrsexponierter und ländlicher Standorte aufgeführt.

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 > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--|-------------------------------------|--|--|
| Eschen | 18 | 58 | 3 |
| Vaduz ¹⁾ | 13 | 42 | 0 |
| Verkehrsexponierte Standorte ²⁾ | 13 - 18 | 45 - 76 | 1 - 7 |
| Ländlich ²⁾ | 9 - 12 | 32 - 42 | 0 |
| Immissionsgrenzwert | 20 | - | 3 |

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft / aus PM2.5-Messdaten abgeleitete PM10-Konzentrationen

²⁾ Quelle: Ostluft Jahresbericht 2022 und Ostluft-Datenbank

5.2. JAHRESVERLAUF UND TAGESMITTELWERTE

Die Boxplots in Abbildung 1 zeigen den monatlichen Verlauf der PM10-Konzentration sowie die Streuung der Halbstundenmittelwerte während der Messperiode vom Dezember 2021 bis Dezember 2022. Der Verlauf der Monatsmittelwerte und -mediane ist an den beiden Messstandorten ähnlich, jedoch auf einem unterschiedlich hohen Niveau. Sowohl die Spitzenkonzentrationen (0.95-Quantile) als auch die Mediane und Mittelwerte sind in Eschen höher als in Vaduz. Ein Grund könnte die verkehrsexponierte Lage des Messstandorts Eschen sein. Insbesondere im Winter kommen zudem weitere mögliche Quellen, wie Feuerungen, in Frage.

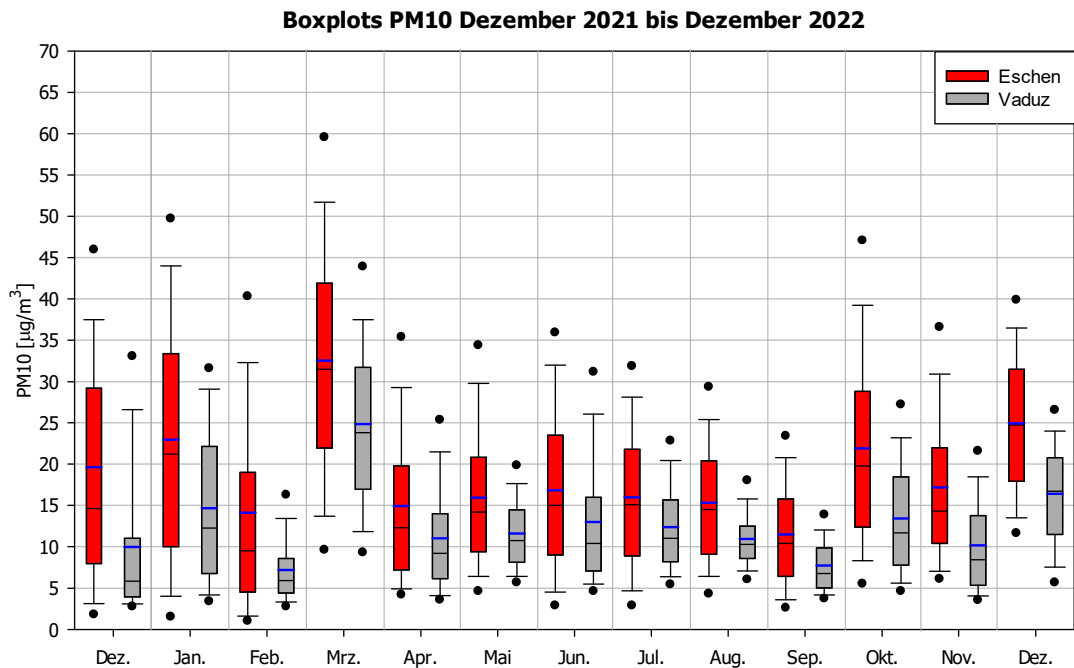


Abbildung 1 Boxplots der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2021 bis Dezember 2022. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.75-Quantil des Monats April liegt in Eschen bei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 75 % der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In Abbildung 2 ist der Verlauf der Tagesmittelwerte der gesamten Messperiode dargestellt. Eine tabellarische Übersicht aller Tagesmittelwerte kann dem Anhang 1 entnommen werden. Während des Messzeitraums wurde der Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dreimal überschritten. Das höchste Tagesmittel ($58 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde am 18. März 2022 während eines mehr-tägigen Saharastaubereignisses gemessen. In Vaduz gab es keine Überschreitungen des PM10-Tagesmittelgrenzwerts.

An der Essanestrasse in Eschen wurden an 116 Tagen Tagesmittelwerte über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

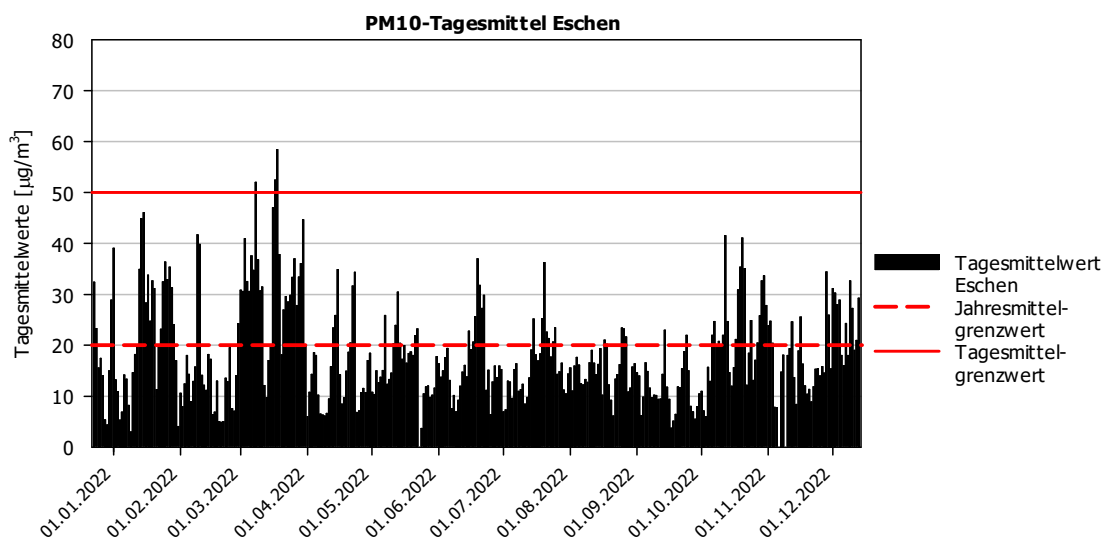


Abbildung 2 Tagesmittelwerte am Standort Eschen Essanestrasse

Der Quantilplot (Abbildung 3) macht die Verteilung der PM10-Tagesmittelwerte an den Standorten Eschen und Vaduz sichtbar. Das 0.9-Quantil der Tagesmittelwerte beträgt in Eschen 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies bedeutet, dass 10 % der Tagesmittelwerte über 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Bei der Landesbibliothek Vaduz liegt das 0.9-Quantil bei 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Median ist in Eschen mit 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ebenfalls höher als in Vaduz (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

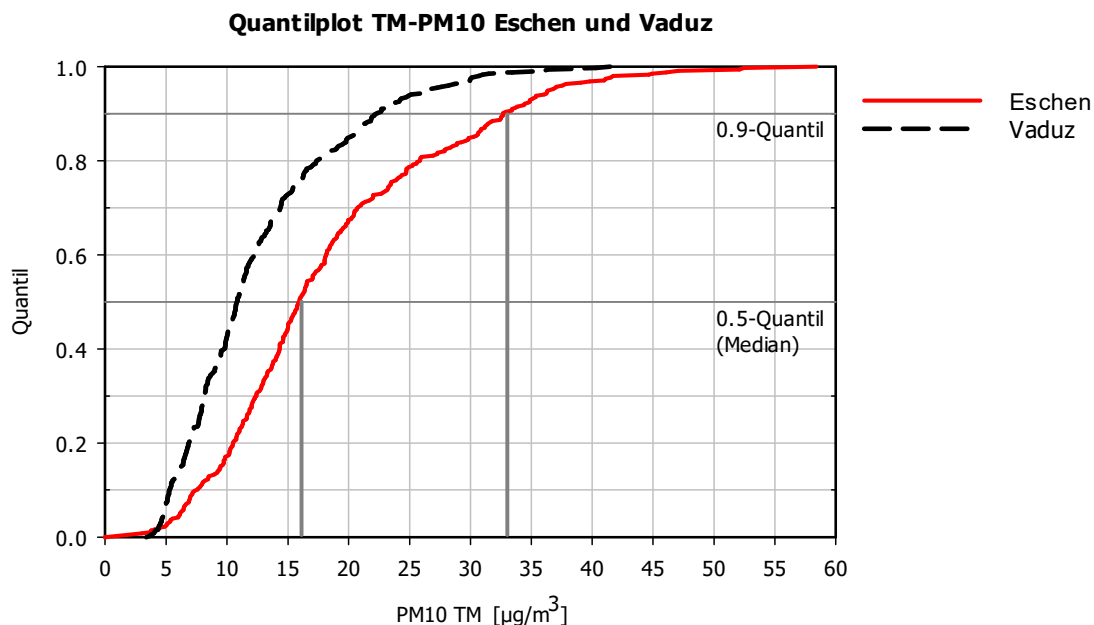


Abbildung 3 Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte 2022 an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

Quotient aus Tagesmittel PM10 Eschen über Vaduz

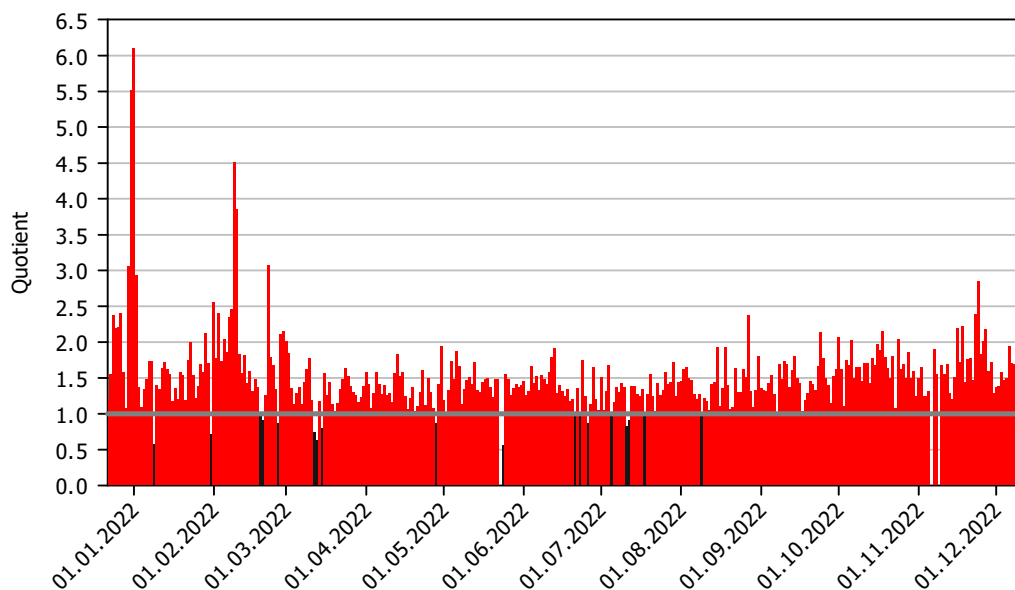


Abbildung 4 Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Eschen Essanestrasse über Vaduz Landesbibliothek vom Dezember 2021 bis Dezember 2022. Rote Balken → Belastung am Standort Eschen ist höher als in Vaduz; schwarze Balken → Die Belastung in Vaduz war höher als in Eschen. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung (Tagesmittelwert) am Standort Eschen um den Faktor 2 höher als jene am Standort Vaduz.

In Abbildung 4 ist ersichtlich an welcher Station der Tagesmittelwert jeweils höher war. Während 95 % der Tage, an denen an beiden Stationen Tagesmittelwerte vorhanden sind, war die Feinstaubbelastung in Eschen höher als in Vaduz.

5.3. WOHENGANG

Beide Standorte weisen keinen ausgeprägten Wochengang auf (siehe Abbildung 5). Mit jeweils $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind der Mittwoch und der Donnerstag die im Mittel am stärksten belasteten Tage. In Vaduz sind die PM10-Belastungen ebenfalls an diesen zwei Tagen im Mittel am höchsten (Tagesmittelwert: jeweils $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In der Wochenmitte wurden in Eschen zudem die höchsten Konzentrationsspitzen gemessen (siehe 0.95-Quantil). Am Sonntag ist die Feinstaubkonzentration mit durchschnittlich $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am niedrigsten. Bei der Landesbibliothek Vaduz sind auch am Wochenende die PM10-Belastungen im Mittel am geringsten.

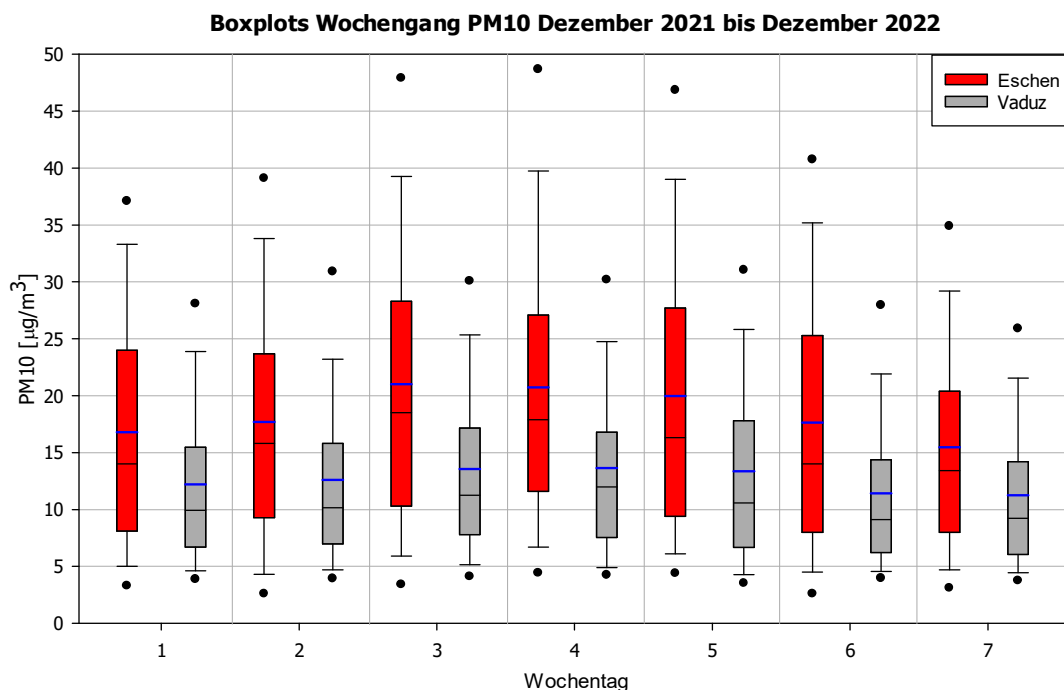


Abbildung 5 Boxplots der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek nach Wochentagen (1: Montag, 7: Sonntag). Messperiode: Dezember 2021 bis Dezember 2022. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt.

5.4. TAGESGANG

Der Tagesgang kann Hinweise auf anthropogene Einflüsse auf die Aussenluftbelastung liefern. Beispielsweise bei Standorten mit starkem Berufsverkehr sind oftmals Konzentrationspitzen am Morgen und am frühen Abend ersichtlich.

Die PM10-Tagesgänge in Eschen sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Werk- und Wochentage weisen einen ähnlichen Tagesgang auf. Die Feinstaubbelastung erreicht gegen Mittag sein Minimum und erhöht sich im Laufe des Nachmittag, wobei das Belastungsmaximum am Abend erreicht wird.

Im Vergleich zum Messstandort Eschen weisen die Tagesgänge in Vaduz wenig Variation auf.

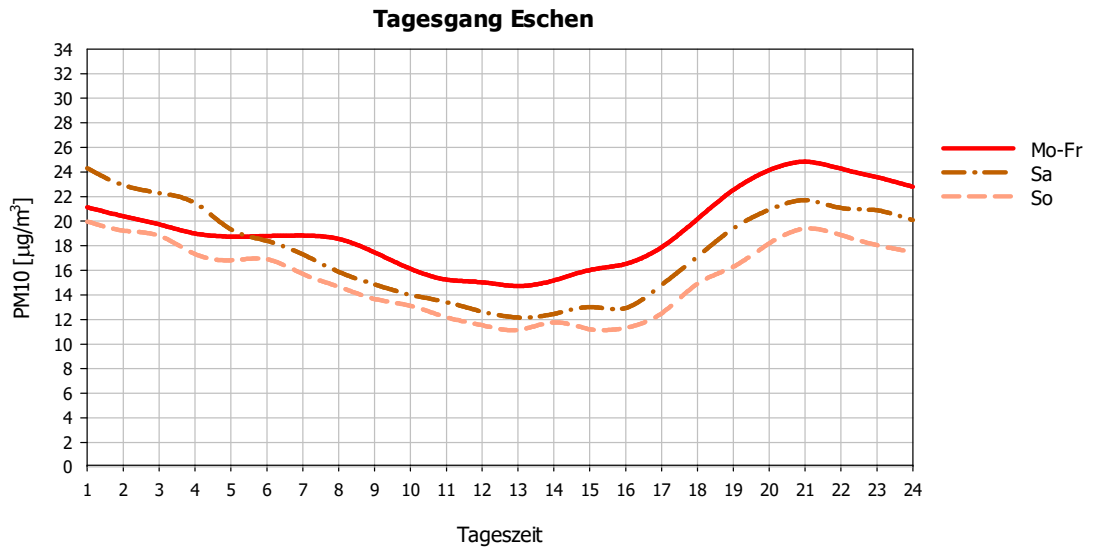


Abbildung 6 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2021 bis Dezember 2022 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

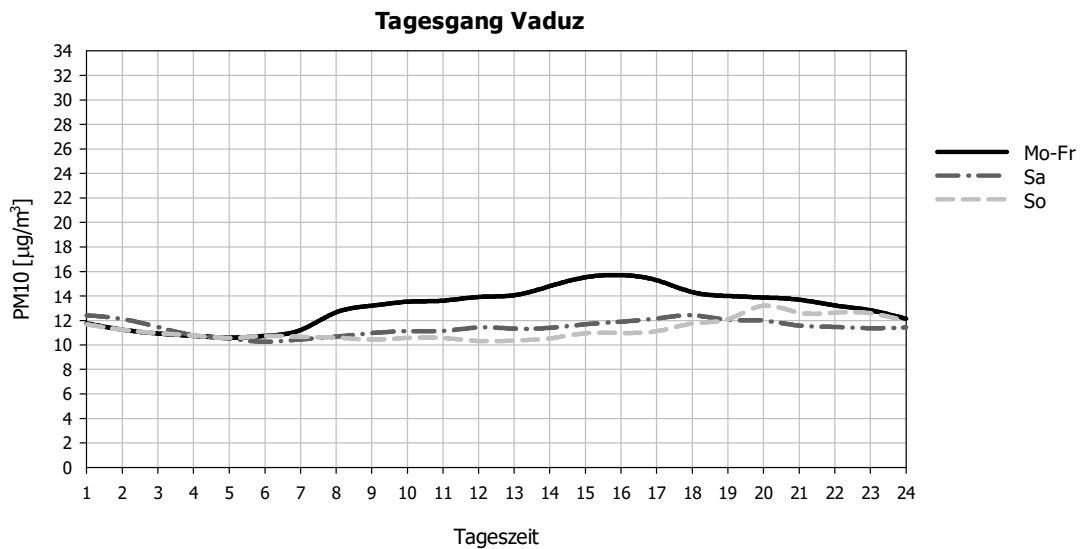


Abbildung 7 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2021 bis Dezember 2022 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

Im Winter sind die Tagesgänge ausgeprägter und die Feinstaubbelastungen entsprechend höher (siehe Abbildung 8). Gründe können zusätzliche Emissionsquellen, wie Feuerungen, und/oder schlechtere Ausbreitungsbedingungen sein. An Werk- sowie an Wochenendtagen findet am Nachmittag ein deutlicher Konzentrationsanstieg statt. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Belastung gegen 01:00 Uhr am Samstag. Grund dafür ist insbesondere die Silvesternacht. An dieser wurden kurzzeitig Feinstaubkonzentrationen von bis zu 180 µg/m³ erreicht (siehe Abbildung 11 auf S. 12).

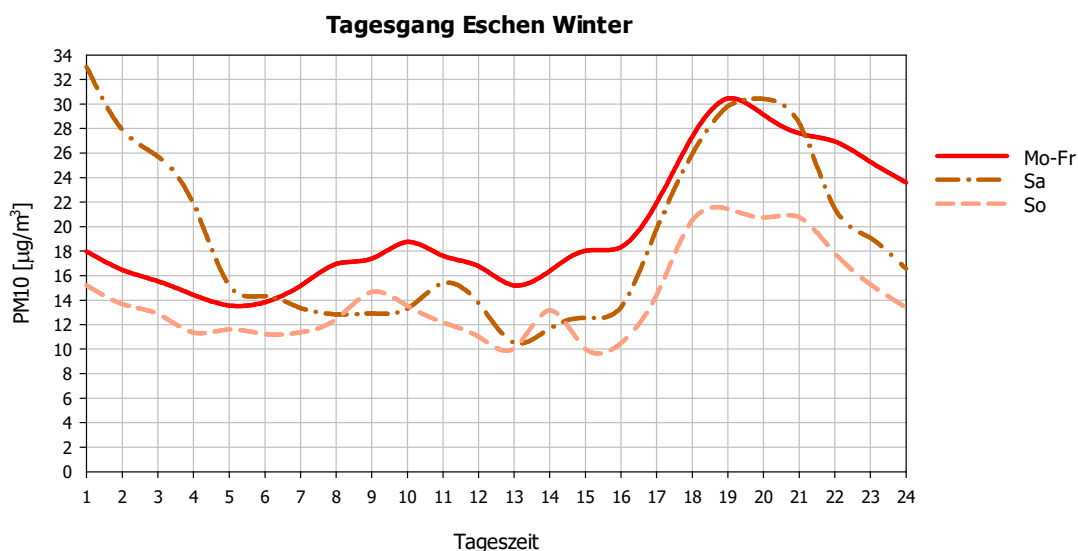


Abbildung 8 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen (\emptyset -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2021 bis einschliesslich Februar 2022 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

In Abbildung 9 sind die Tagesgänge im Sommer dargestellt. Im Vergleich zu den Wintermonaten ist die PM10-Belastung tiefer. Zudem fällt der Konzentrationsanstieg am Abend weniger stark aus.

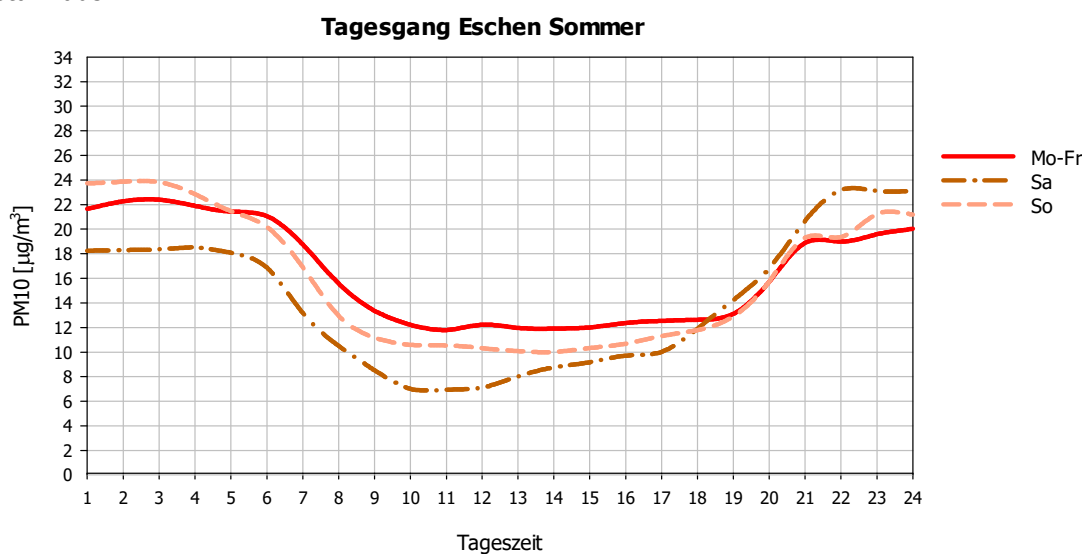


Abbildung 9 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen (\emptyset -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Juni 2022 bis einschliesslich August 2022 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

5.5. KURZZEITBELASTUNGEN

In Eschen wurden mehrheitlich Feinstaubbelastungen von weniger als $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen (siehe Abbildung 10). Die kurzzeitige PM₁₀-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 37 % der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Erhöhte Konzentrationen ($> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurden während 2 % der Messperiode registriert.

Für kurzzeitige Feinstaubbelastungen (Halbstundenmittelwerte) sind keine Grenzwerte festgelegt.

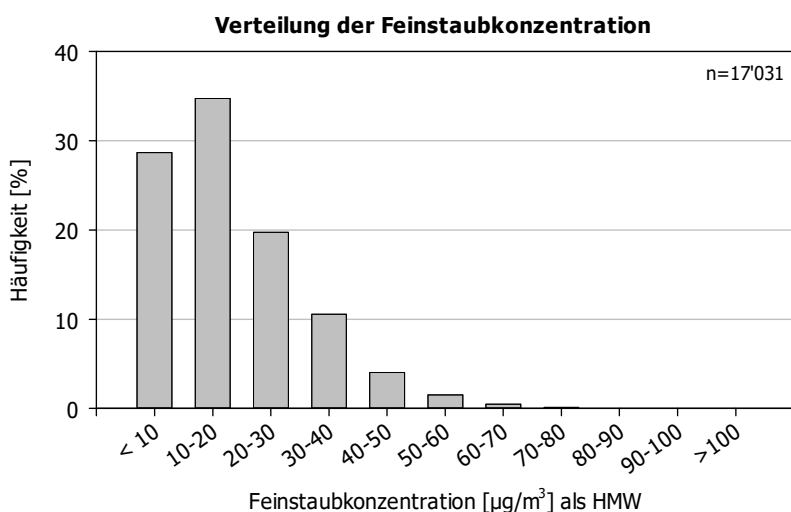


Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) Dezember 2021 bis Dezember 2022 am Standort Eschen Essanestrasse

Die Auswirkungen von Feuerwerken auf die kurzzeitige Feinstaubbelastung ist in Abbildung 11 gut sichtbar. Der Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde am 31. Dezember und 1. Januar dennoch eingehalten.

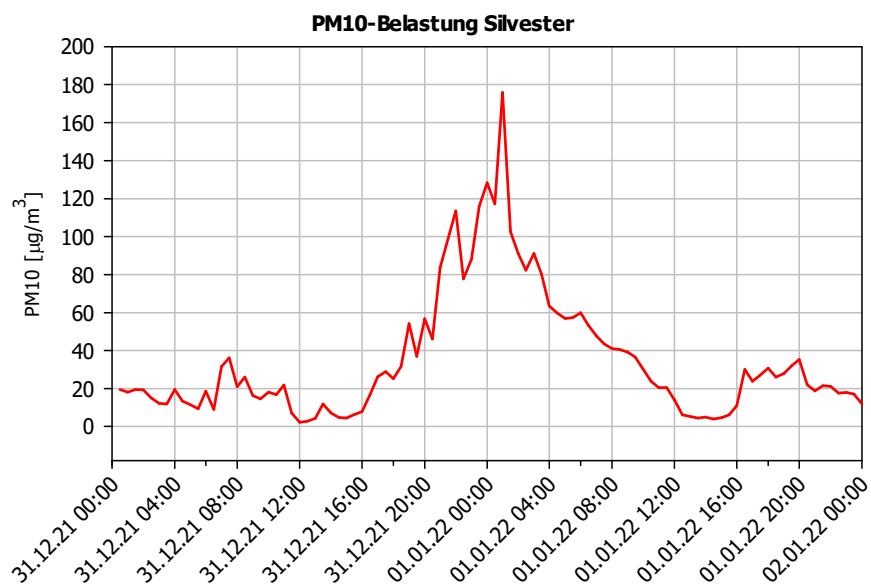


Abbildung 11 PM₁₀-Halbstundenmittelwerte Eschen an Silvester

6. RESULTATE STICKOXIDE

In Tabelle 2 sind die Messergebnisse der durchgeführten Stickoxidmessungen aufgeführt. Im Der NO₂-Langzeitimmissionsgrenzwert wird deutlich unterschritten. Auch der Kurzzeit-Grenzwert von 80 µg/m³ wurde mit einem maximalen Tagesmittelwert von 49 µg/m³, gemessen am 27. Januar 2022, eingehalten. In Vaduz gab es ebenfalls keine Grenzwertüberschreitungen. Die Stickstoffdioxid-Belastungssituation ist im Jahresmittel in Eschen höher als bei der Landesbibliothek Vaduz. Grund für die höheren NO₂-Konzentrationen in Eschen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Nähe zur vielbefahrenen Essanestrasse. Der Messstandort in Vaduz liegt abseits der Strasse und ist somit weniger stark vom Verkehr beeinflusst.

Tabelle 2 Übersicht der relevanten NO₂-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

| Standort | JMW [µg/m ³] | 95%-Perzentil [µg/m ³] | Max. TMW [µg/m ³] | Tage >80 µg/m ³ [Tage] |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Eschen | 18 | 44 | 49 | 0 |
| Vaduz ¹⁾ | 12 | 40 | 54 | 0 |
| Immissionsgrenzwert | 30 | 100 | - | 1 |

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

Tabelle 3 Übersicht der relevanten NO und NO_x-Messergebnisse

| Standort | Jahresmittelwert (JMW) | | Max. Tagesmittel | |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | NO _x [ppb] | NO [µg/m ³] | NO _x [ppb] | NO [µg/m ³] |
| Eschen | 17 | 10 | 77 | 64 |
| Vaduz ¹⁾ | 9 | 3 | 59 | 41 |

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

In Abbildung 12 sind Boxplots der Standorte Eschen und Vaduz aufgeführt. Der Belastungsverlauf an den beiden Messstandorten ist ähnlich, jedoch sind an der Essanestrasse in Eschen die Monatsmittelwerte und -mediane durchwegs höher als in Vaduz. Auch die Spitzenkonzentrationen (0.95-Quantile) sind mit Ausnahme des Januars in Eschen ausgeprägter.

Boxplots NO₂ Dezember 2021 bis Dezember 2022

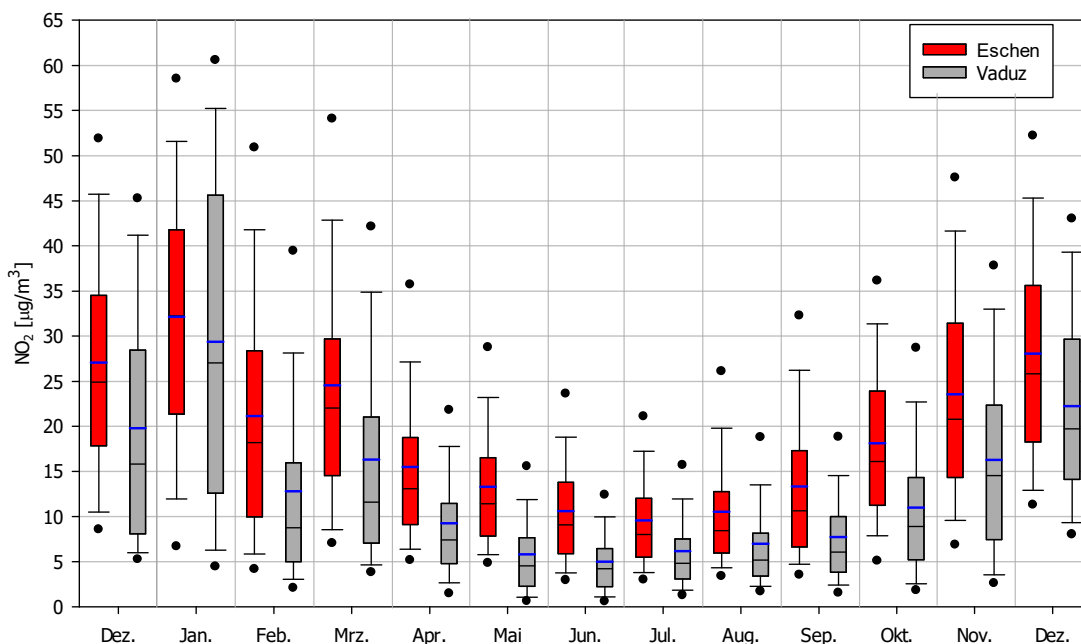


Abbildung 12 Boxplots der NO₂-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2021 bis Dezember 2022. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt. Lesebeispiel: Das 0.90-Quantil des Monats August am Standort Eschen liegt bei 20 µg/m³, d.h. 90 % der erfassten Halbstundenmittelwerte lagen im August unter 20 µg/m³.

Der Verlauf der NO₂-Tagesmittelwerte des Messstandorts in Eschen kann der Abbildung 13 entnommen werden. Wie bereits erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel deutlich unter dem Immissionsgrenzwert von 80 µg/m³.

NO₂-Tagesmittel Eschen

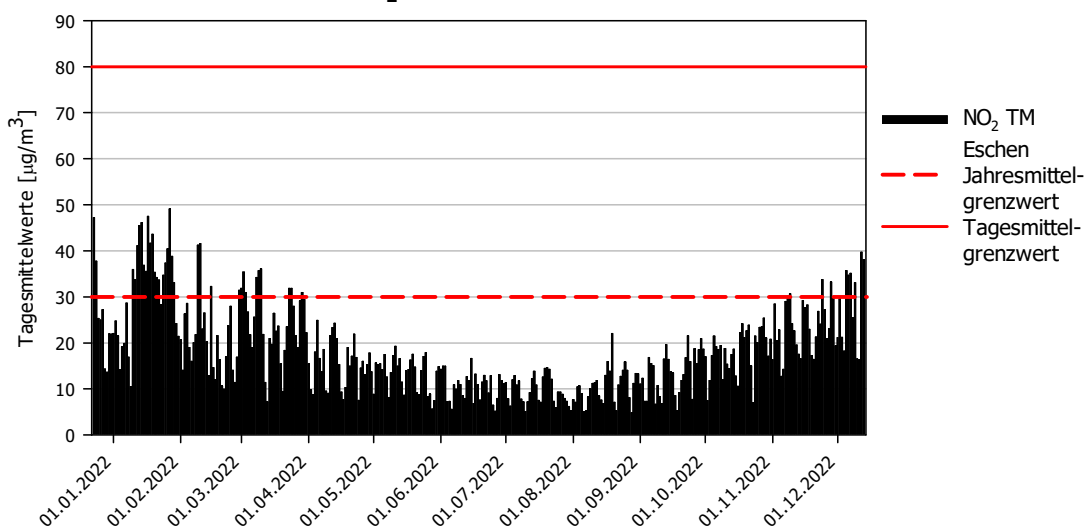


Abbildung 13 NO₂-Tagesmittelwerte am Standort Eschen

In Abbildung 14 ist der Wochengang der NO₂-Belastung an der Essanestrasse Eschen und bei der Landesbibliothek Vaduz dargestellt. An beiden Standorten sind die Konzentrationen am Wochenende auf einem niedrigeren Niveau als an Werktagen. Ein solcher Verlauf ist für verkehrsexponierte Standorte üblich. Auch in Vaduz ist die Belastung an den Wochenenden geringer als an Werktagen.

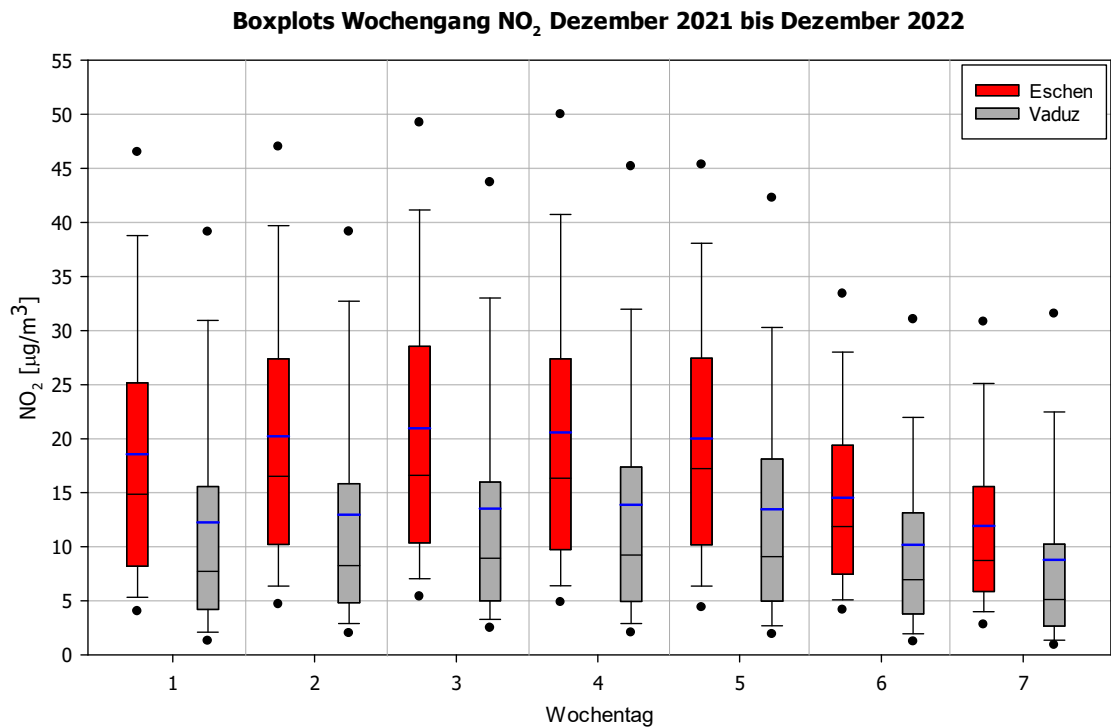


Abbildung 14 Boxplots der NO₂-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek nach Wochentagen (1: Montag, 7: Sonntag). Messperiode: Dezember 2021 bis Dezember 2022. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Der Mittelwert ist blau dargestellt.

Der Tagesgang an der Essanestrasse Eschen (siehe Abbildung 15) weist werktags deutliche Schwankungen auf. In den Morgenstunden ist ein deutlicher Anstieg der NO₂-Belastung ersichtlich. Gegen Abend erhöht sich die Konzentration ein zweites Mal. Solche Belastungsspitzen am Morgen und am Abend sind an verkehrsbeeinflussten Standorten üblich.

Bei der Landesbibliothek Vaduz ist der Tagesgang an Werktagen dem der Station in Eschen zwar ähnlich, die Belastungsspitzen liegen jedoch auf einem viel niedrigeren Niveau. Sonntags fallen an beiden Messstandorten die tageszeitlichen Schwankungen geringer aus.

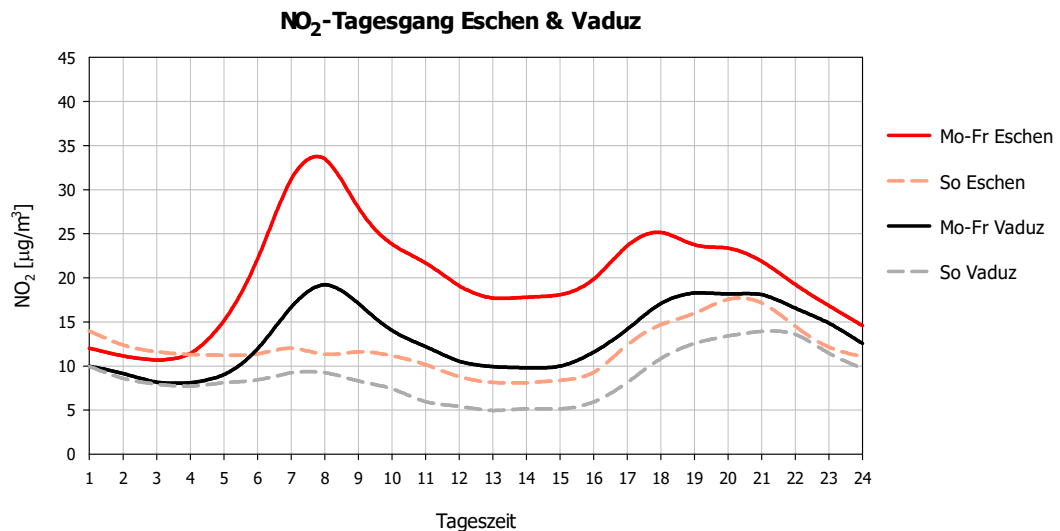


Abbildung 15 Mittlerer Tagesgang der NO₂-Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2021 bis Dezember 2022 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

Der Unterschied zwischen den Stickstoffdioxidbelastungen an Werk- und Sonntagen ist in Abbildung 16 dargestellt. In Eschen ist der Belastungsanstieg in den Morgenstunden von Montag bis Freitag ausgeprägter als in Vaduz.

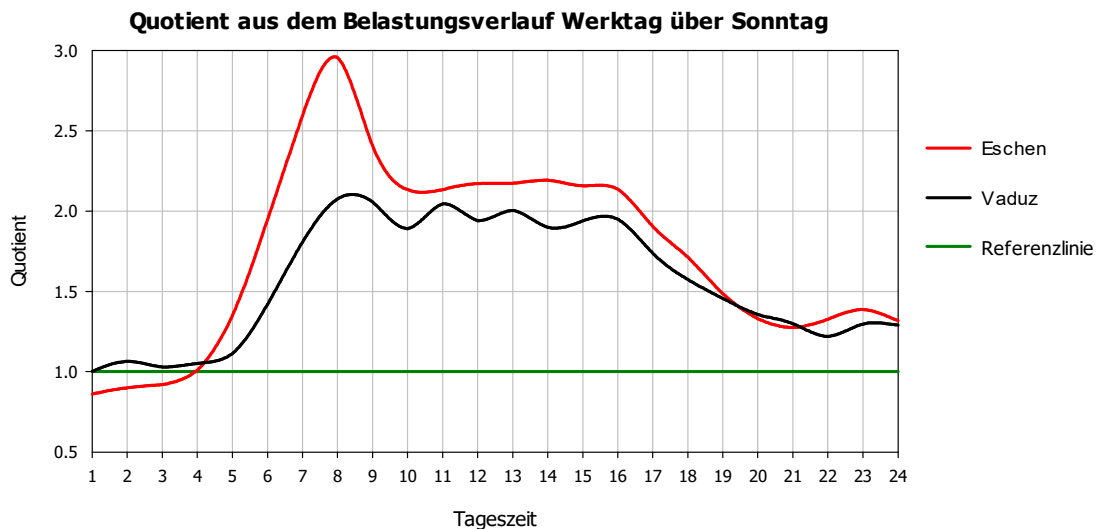


Abbildung 16 Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2021 bis Dezember 2022). Lesebeispiel: Am Standort Eschen sind die mittleren NO₂-Konzentrationen gegen 08:00 Uhr an Werktagen ca. um den Faktor 3 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit. Der Wert 1 (dunkelgrüne Referenzlinie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen kein Unterschied besteht.

In den Abbildungen Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die jahreszeitlichen Unterschiede des NO₂-Tagesgangs ersichtlich. Im Winter sind die Belastungsanstiege und -spitzen ausgeprägter. Wie auch in Abbildung 12 (monatliche Boxplots) ersichtlich, sind die Belastungsspitzen sowie die Streuung der Messresultate in den Sommermonaten niedriger als im Winter.

Im Gegensatz zum ganzjährigen und dem Sommer-Tagesgang ist im Winter auch abends ein deutlicher NO_2 -Belastungsanstieg zu beobachten.

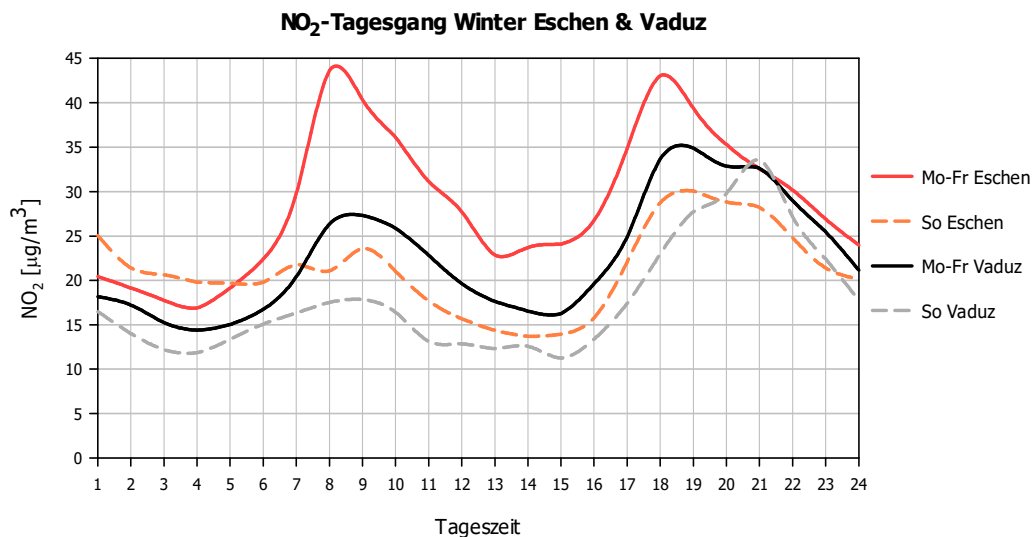


Abbildung 17 Mittlerer Tagesgang der NO_2 -Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (\emptyset -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2021 bis und mit Februar 2022 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

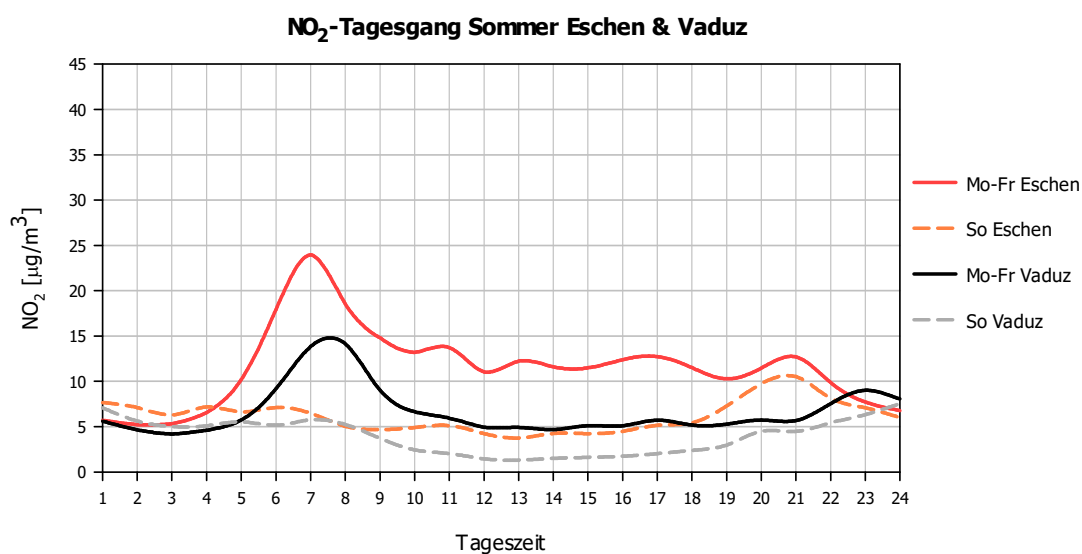


Abbildung 18 Mittlerer Tagesgang der NO_2 -Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (\emptyset -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Juni 2022 bis und mit August 2022 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 22.12.2021 | 36 | 37 |
| 23.12.2021 | 32 | 47 |
| 24.12.2021 | 23 | 38 |
| 25.12.2021 | 16 | 25 |
| 26.12.2021 | 17 | 25 |
| 27.12.2021 | 14 | 27 |
| 28.12.2021 | 5 | 14 |
| 29.12.2021 | 4 | 14 |
| 30.12.2021 | 15 | 22 |
| 31.12.2021 | 29 | 22 |
| 01.01.2022 | 39 | 22 |
| 02.01.2022 | 13 | 25 |
| 03.01.2022 | 11 | 22 |
| 04.01.2022 | 5 | 14 |
| 05.01.2022 | 7 | 19 |
| 06.01.2022 | 14 | 20 |
| 07.01.2022 | 13 | 29 |
| 08.01.2022 | 8 | 17 |
| 09.01.2022 | 3 | 11 |
| 10.01.2022 | 15 | 36 |
| 11.01.2022 | 18 | 34 |
| 12.01.2022 | 20 | 41 |
| 13.01.2022 | 35 | 45 |
| 14.01.2022 | 45 | 46 |
| 15.01.2022 | 46 | 37 |
| 16.01.2022 | 28 | 36 |
| 17.01.2022 | 34 | 47 |
| 18.01.2022 | 25 | 42 |
| 19.01.2022 | 33 | 44 |
| 20.01.2022 | 31 | 35 |
| 21.01.2022 | 11 | 34 |
| 22.01.2022 | 20 | 34 |
| 23.01.2022 | 23 | 28 |
| 24.01.2022 | 33 | 35 |
| 25.01.2022 | 36 | 37 |
| 26.01.2022 | 33 | 40 |
| 27.01.2022 | 35 | 49 |
| 28.01.2022 | 31 | 39 |
| 29.01.2022 | 24 | 33 |
| 30.01.2022 | 17 | 24 |
| 31.01.2022 | 4 | 21 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 01.02.2022 | 11 | 21 |
| 02.02.2022 | 8 | 14 |
| 03.02.2022 | 12 | 26 |
| 04.02.2022 | 18 | 29 |
| 05.02.2022 | 14 | 19 |
| 06.02.2022 | 9 | 16 |
| 07.02.2022 | 13 | 20 |
| 08.02.2022 | 16 | 22 |
| 09.02.2022 | 42 | 41 |
| 10.02.2022 | 40 | 42 |
| 11.02.2022 | 14 | 23 |
| 12.02.2022 | 12 | 27 |
| 13.02.2022 | 11 | 20 |
| 14.02.2022 | 18 | 13 |
| 15.02.2022 | 17 | 32 |
| 16.02.2022 | 6 | 15 |
| 17.02.2022 | 7 | 12 |
| 18.02.2022 | 13 | 22 |
| 19.02.2022 | 5 | 16 |
| 20.02.2022 | 5 | 11 |
| 21.02.2022 | 5 | 10 |
| 22.02.2022 | 14 | 17 |
| 23.02.2022 | 13 | 24 |
| 24.02.2022 | 20 | 28 |
| 25.02.2022 | 8 | 14 |
| 26.02.2022 | 7 | 11 |
| 27.02.2022 | 14 | 17 |
| 28.02.2022 | 24 | 31 |
| 01.03.2022 | 31 | 32 |
| 02.03.2022 | 31 | 35 |
| 03.03.2022 | 41 | 31 |
| 04.03.2022 | 33 | 27 |
| 05.03.2022 | 31 | 22 |
| 06.03.2022 | 38 | 19 |
| 07.03.2022 | 35 | 26 |
| 08.03.2022 | 52 | 34 |
| 09.03.2022 | 37 | 36 |
| 10.03.2022 | 31 | 36 |
| 11.03.2022 | 31 | 22 |
| 12.03.2022 | 12 | 11 |
| 13.03.2022 | 10 | 7 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 14.03.2022 | 17 | 21 |
| 15.03.2022 | 20 | 20 |
| 16.03.2022 | 47 | 26 |
| 17.03.2022 | 52 | 23 |
| 18.03.2022 | 58 | 24 |
| 19.03.2022 | 38 | 15 |
| 20.03.2022 | 18 | 9 |
| 21.03.2022 | 27 | 18 |
| 22.03.2022 | 30 | 24 |
| 23.03.2022 | 29 | 32 |
| 24.03.2022 | 30 | 32 |
| 25.03.2022 | 33 | 28 |
| 26.03.2022 | 37 | 22 |
| 27.03.2022 | 28 | 19 |
| 28.03.2022 | 33 | 29 |
| 29.03.2022 | 36 | 31 |
| 30.03.2022 | 45 | 29 |
| 31.03.2022 | 20 | 22 |
| 01.04.2022 | 6 | 15 |
| 02.04.2022 | 11 | 10 |
| 03.04.2022 | 14 | 9 |
| 04.04.2022 | 19 | 18 |
| 05.04.2022 | 18 | 25 |
| 06.04.2022 | 10 | 17 |
| 07.04.2022 | 7 | 14 |
| 08.04.2022 | 6 | 19 |
| 09.04.2022 | 6 | 10 |
| 10.04.2022 | 7 | 9 |
| 11.04.2022 | 9 | 22 |
| 12.04.2022 | 16 | 23 |
| 13.04.2022 | 23 | 24 |
| 14.04.2022 | 26 | 21 |
| 15.04.2022 | 35 | 15 |
| 16.04.2022 | 14 | 9 |
| 17.04.2022 | 8 | 8 |
| 18.04.2022 | 10 | 10 |
| 19.04.2022 | 15 | 19 |
| 20.04.2022 | 19 | 15 |
| 21.04.2022 | 20 | 17 |
| 22.04.2022 | 32 | 22 |
| 23.04.2022 | 34 | 17 |

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 24.04.2022 | 7 | 8 |
| 25.04.2022 | 7 | 15 |
| 26.04.2022 | 11 | 16 |
| 27.04.2022 | 12 | 13 |
| 28.04.2022 | 11 | 15 |
| 29.04.2022 | 17 | 18 |
| 30.04.2022 | 18 | 14 |
| 01.05.2022 | 11 | 9 |
| 02.05.2022 | 10 | 16 |
| 03.05.2022 | 15 | 15 |
| 04.05.2022 | 13 | 15 |
| 05.05.2022 | 14 | 14 |
| 06.05.2022 | 15 | 17 |
| 07.05.2022 | 26 | 13 |
| 08.05.2022 | 12 | 8 |
| 09.05.2022 | 13 | 14 |
| 10.05.2022 | 15 | 17 |
| 11.05.2022 | 20 | 19 |
| 12.05.2022 | 24 | 15 |
| 13.05.2022 | 30 | 17 |
| 14.05.2022 | 20 | 11 |
| 15.05.2022 | 17 | 9 |
| 16.05.2022 | 20 | 14 |
| 17.05.2022 | 16 | 14 |
| 18.05.2022 | 18 | 16 |
| 19.05.2022 | 19 | 18 |
| 20.05.2022 | 18 | 15 |
| 21.05.2022 | 22 | 9 |
| 22.05.2022 | 23 | 9 |
| 23.05.2022 | --- | 14 |
| 24.05.2022 | 4 | 17 |
| 25.05.2022 | 11 | 18 |
| 26.05.2022 | 12 | 8 |
| 27.05.2022 | 12 | 9 |
| 28.05.2022 | 10 | 6 |
| 29.05.2022 | 10 | 7 |
| 30.05.2022 | 12 | 14 |
| 31.05.2022 | 18 | 15 |
| 01.06.2022 | 16 | 14 |
| 02.06.2022 | 14 | 15 |
| 03.06.2022 | 15 | 15 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 04.06.2022 | 18 | 7 |
| 05.06.2022 | 19 | 7 |
| 06.06.2022 | 13 | 6 |
| 07.06.2022 | 8 | 11 |
| 08.06.2022 | 10 | 10 |
| 09.06.2022 | 7 | 12 |
| 10.06.2022 | 9 | 11 |
| 11.06.2022 | 12 | 8 |
| 12.06.2022 | 15 | 8 |
| 13.06.2022 | 16 | 13 |
| 14.06.2022 | 14 | 12 |
| 15.06.2022 | 23 | 17 |
| 16.06.2022 | 19 | 7 |
| 17.06.2022 | 21 | 13 |
| 18.06.2022 | 26 | 11 |
| 19.06.2022 | 37 | 8 |
| 20.06.2022 | 32 | 11 |
| 21.06.2022 | 27 | 13 |
| 22.06.2022 | 30 | 12 |
| 23.06.2022 | 11 | 9 |
| 24.06.2022 | 15 | 13 |
| 25.06.2022 | 6 | 6 |
| 26.06.2022 | 13 | 5 |
| 27.06.2022 | 16 | 8 |
| 28.06.2022 | 14 | 13 |
| 29.06.2022 | 16 | 12 |
| 30.06.2022 | 15 | 11 |
| 01.07.2022 | 7 | 11 |
| 02.07.2022 | 7 | 8 |
| 03.07.2022 | 13 | 6 |
| 04.07.2022 | 13 | 12 |
| 05.07.2022 | 10 | 13 |
| 06.07.2022 | 15 | 11 |
| 07.07.2022 | 16 | 12 |
| 08.07.2022 | 11 | 8 |
| 09.07.2022 | 11 | 7 |
| 10.07.2022 | 12 | 5 |
| 11.07.2022 | 8 | 7 |
| 12.07.2022 | 10 | 9 |
| 13.07.2022 | 14 | 12 |
| 14.07.2022 | 19 | 14 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 15.07.2022 | 25 | 11 |
| 16.07.2022 | 18 | 8 |
| 17.07.2022 | 17 | 7 |
| 18.07.2022 | 18 | 13 |
| 19.07.2022 | 25 | 14 |
| 20.07.2022 | 36 | 15 |
| 21.07.2022 | 23 | 14 |
| 22.07.2022 | 21 | 12 |
| 23.07.2022 | 18 | 7 |
| 24.07.2022 | 21 | 6 |
| 25.07.2022 | 23 | 9 |
| 26.07.2022 | 14 | 9 |
| 27.07.2022 | 15 | 9 |
| 28.07.2022 | 17 | 8 |
| 29.07.2022 | 11 | 7 |
| 30.07.2022 | 10 | 6 |
| 31.07.2022 | 14 | 5 |
| 01.08.2022 | 16 | 8 |
| 02.08.2022 | 11 | 7 |
| 03.08.2022 | 16 | 10 |
| 04.08.2022 | 18 | 11 |
| 05.08.2022 | 16 | 9 |
| 06.08.2022 | 13 | 5 |
| 07.08.2022 | 12 | 5 |
| 08.08.2022 | 13 | 8 |
| 09.08.2022 | 13 | 10 |
| 10.08.2022 | 17 | 11 |
| 11.08.2022 | 19 | 11 |
| 12.08.2022 | 17 | 12 |
| 13.08.2022 | 14 | 8 |
| 14.08.2022 | 16 | 8 |
| 15.08.2022 | 19 | 7 |
| 16.08.2022 | 10 | 13 |
| 17.08.2022 | 21 | 16 |
| 18.08.2022 | 20 | 14 |
| 19.08.2022 | 12 | 22 |
| 20.08.2022 | 9 | 7 |
| 21.08.2022 | 6 | 5 |
| 22.08.2022 | 13 | 11 |
| 23.08.2022 | 14 | 13 |
| 24.08.2022 | 16 | 14 |

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 25.08.2022 | 23 | 16 |
| 26.08.2022 | 23 | 14 |
| 27.08.2022 | 22 | 8 |
| 28.08.2022 | 11 | 5 |
| 29.08.2022 | 12 | 11 |
| 30.08.2022 | 16 | 13 |
| 31.08.2022 | 16 | 13 |
| 01.09.2022 | 15 | 11 |
| 02.09.2022 | 14 | 12 |
| 03.09.2022 | 6 | 7 |
| 04.09.2022 | 10 | 7 |
| 05.09.2022 | 17 | 17 |
| 06.09.2022 | 15 | 16 |
| 07.09.2022 | 12 | 15 |
| 08.09.2022 | 10 | 7 |
| 09.09.2022 | 10 | 11 |
| 10.09.2022 | 10 | 8 |
| 11.09.2022 | 9 | 7 |
| 12.09.2022 | 9 | 16 |
| 13.09.2022 | 14 | 20 |
| 14.09.2022 | 23 | 16 |
| 15.09.2022 | 12 | 14 |
| 16.09.2022 | 9 | 13 |
| 17.09.2022 | 4 | 9 |
| 18.09.2022 | 5 | 5 |
| 19.09.2022 | 6 | 9 |
| 20.09.2022 | 12 | 12 |
| 21.09.2022 | 12 | 13 |
| 22.09.2022 | 15 | 17 |
| 23.09.2022 | 19 | 22 |
| 24.09.2022 | 22 | 16 |
| 25.09.2022 | 15 | 8 |
| 26.09.2022 | 8 | 19 |
| 27.09.2022 | 7 | 15 |
| 28.09.2022 | 6 | 18 |
| 29.09.2022 | 8 | 21 |
| 30.09.2022 | 10 | 19 |
| 01.10.2022 | 11 | 17 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 02.10.2022 | 7 | 7 |
| 03.10.2022 | 6 | 12 |
| 04.10.2022 | 16 | 17 |
| 05.10.2022 | 13 | 21 |
| 06.10.2022 | 22 | 19 |
| 07.10.2022 | 25 | 19 |
| 08.10.2022 | 20 | 19 |
| 09.10.2022 | 21 | 12 |
| 10.10.2022 | 20 | 19 |
| 11.10.2022 | 22 | 15 |
| 12.10.2022 | 42 | 14 |
| 13.10.2022 | 25 | 17 |
| 14.10.2022 | 15 | 19 |
| 15.10.2022 | 12 | 13 |
| 16.10.2022 | 16 | 11 |
| 17.10.2022 | 21 | 22 |
| 18.10.2022 | 31 | 24 |
| 19.10.2022 | 35 | 21 |
| 20.10.2022 | 41 | 23 |
| 21.10.2022 | 35 | 24 |
| 22.10.2022 | 12 | 15 |
| 23.10.2022 | 18 | 7 |
| 24.10.2022 | 25 | 22 |
| 25.10.2022 | 13 | 20 |
| 26.10.2022 | 17 | 23 |
| 27.10.2022 | 20 | 24 |
| 28.10.2022 | 26 | 25 |
| 29.10.2022 | 33 | 21 |
| 30.10.2022 | 34 | 17 |
| 31.10.2022 | 28 | 21 |
| 01.11.2022 | 24 | 16 |
| 02.11.2022 | 25 | 28 |
| 03.11.2022 | 20 | 20 |
| 04.11.2022 | 8 | 23 |
| 05.11.2022 | 8 | 13 |
| 06.11.2022 | --- | 14 |
| 07.11.2022 | 15 | 29 |
| 08.11.2022 | 18 | 30 |

| Datum | PM10 | NO ₂ |
|------------|------|-----------------|
| 09.11.2022 | --- | 31 |
| 10.11.2022 | 18 | 24 |
| 11.11.2022 | 19 | 23 |
| 12.11.2022 | 25 | 20 |
| 13.11.2022 | 14 | 18 |
| 14.11.2022 | 8 | 17 |
| 15.11.2022 | 19 | 29 |
| 16.11.2022 | 26 | 28 |
| 17.11.2022 | 16 | 28 |
| 18.11.2022 | 12 | 23 |
| 19.11.2022 | 10 | 17 |
| 20.11.2022 | 11 | 16 |
| 21.11.2022 | 9 | 21 |
| 22.11.2022 | 12 | 27 |
| 23.11.2022 | 15 | 24 |
| 24.11.2022 | 15 | 34 |
| 25.11.2022 | 14 | 27 |
| 26.11.2022 | 16 | 21 |
| 27.11.2022 | 15 | 23 |
| 28.11.2022 | 34 | 33 |
| 29.11.2022 | 26 | 30 |
| 30.11.2022 | 15 | 19 |
| 01.12.2022 | 31 | 21 |
| 02.12.2022 | 30 | 30 |
| 03.12.2022 | 28 | 21 |
| 04.12.2022 | 29 | 18 |
| 05.12.2022 | 18 | 36 |
| 06.12.2022 | 16 | 35 |
| 07.12.2022 | 24 | 35 |
| 08.12.2022 | 18 | 25 |
| 09.12.2022 | 33 | 33 |
| 10.12.2022 | 27 | 17 |
| 11.12.2022 | 19 | 16 |
| 12.12.2022 | 21 | 40 |
| 13.12.2022 | 29 | 38 |

grau hinterlegt = Überschreitung des Tagesmittel-Immissionsgrenzwertes
 --- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert

ANHANG II Messstandort



Quelle: Geodatenportal lv.li