

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2019 AM STANDORT ESCHEN  
ESSANESTRASSE



SCHAAN, SEPTEMBER 2021 / JÜRGEN BECKBISSINGER, NADJA JAEGGI

8157\_Bericht Eschen 2019\_V1 / 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
3.	AUFGABE	3
4.	GRUNDLAGEN	4
5.	RESULTATE PM10	6
6.	RESULTATE STICKOXIDE	14

## Anhänge:

I	TAGESMITTELWERTE.....	20
II	ÜBERSICHTSKARTE .....	23

## 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 <a href="http://www.au.llv.li">www.au.llv.li</a>

## 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 (NO<sub>2</sub>) dazu. Im Zeitraum vom 14. Dezember 2018 bis zum 17. Dezember 2019 wurden in Eschen an der Essanestrasse kontinuierlich PM10- und NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen durchgeführt.

Der PM10-Jahresmittelwert am Standort Eschen Essanestrasse lag mit 16 µg/m<sup>3</sup> unter dem Jahresmittelgrenzwert der Liechtensteiner Luftreinhalteverordnung (LRV) von 20 µg/m<sup>3</sup>. Auch der Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> lag mit 23 µg/m<sup>3</sup> unter dem Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup>.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde in der Messkampagne lediglich einmal überschritten, der Kurzzeitgrenzwert wurde somit eingehalten. Der höchste Tagesmittelwert mit 69 µg/m<sup>3</sup> wurde am 21. Januar 2019 gemessen.

Beim NO<sub>2</sub> wurde der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup> mit einem maximalen Tagesmittel von 67 µg/m<sup>3</sup>, gemessen am 7. Februar 2019, eingehalten.

Das 0.9-Quantil (die 10 % obersten Messwerte) der PM10-Tagesmittelwerte lag in Eschen bei 29 µg/m<sup>3</sup>, in Vaduz betrug es 20 µg/m<sup>3</sup>. Die Mediane der PM10-Tagesmittelwerte lagen in Eschen bei 14 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz bei 10 µg/m<sup>3</sup>.

Das 0.9-Quantil der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte lag in Eschen bei 40 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz bei 30 µg/m<sup>3</sup>. Die Mediane bei 21 µg/m<sup>3</sup> in Eschen und 11 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz.

Die Auswertung zeigt deutlichen anthropogenen Einfluss auf die gemessenen Immissionskonzentrationen. Der direkte Zusammenhang mit spezifischen Quellen, wie beispielsweise Verkehr, Feuerungen, Industrie und Gewerbe wurden im vorliegenden Bericht nicht untersucht.

## 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 Herz-Kreislaufkrankungen und damit verbundene Spitalweisungen; 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<sub>x</sub>) wird die Summe aus den beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) bezeichnet. Eine wesentliche Quelle für NO<sub>x</sub> sind Verbrennungsprozesse. In der Atmosphäre wandelt sich NO rasch ins giftigere NO<sub>2</sub> um. Für NO<sub>2</sub> sind in der Luftreinhalteverordnung (LRV) Immissionsgrenzwerte festgelegt. Neben direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen beeinflussen NO und NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub>-Messungen durchzuführen. Dies geschieht neben den Messungen 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 2018 an der Engelkreuzung in Nendeln wurden vom 14. Dezember 2018 bis zum 17. Dezember 2019 in Eschen an der Essanestrasse kontinuierliche Immissionsmessungen mit der mobilen Messstation vorgenommen. Die Messstation befand sich auf dem Grundstück der Firma Marxana beim Eintrachtkreisel in Eschen. Der Abstand zum Fahrbahnrand betrug ca. 2 m (vgl. Orthofoto im Anhang II). Die Ansaughöhe lag auf ca. 2.5 m Höhe.

### 4.2. MESSGERÄTE

#### **Feinstaub PM10**

Die Messung der Feinstaubkonzentration erfolgte kontinuierlich mit einem Staubmessgerät Model 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  $\beta$ -Strahlenquelle und einer optischen Methode kontinuierlich gemessen. Dabei kalibriert das Messgerät das optische Messsystem (Nephelometer) mit der Referenz-Partikelmasse aus der Beta-Messung. Die Messwerte werden als Halbstundenmittelwerte erfasst.

#### **Stickoxide**

Die Messung der Stickoxide, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, erfolgte kontinuierlich mit einem NO<sub>x</sub>-Analysator des Typs MLU 200A (Messprinzip: Chemilumineszenz; Konverter: Molybdän). Die Messwerte werden ebenfalls als Halbstundenmittelwerte erfasst.

### 4.3. QUALITÄTSSICHERUNG

Die PM10-Messdaten wurden täglich und die NO<sub>x</sub>-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

## 5

in den meisten Fällen vertretbar gute Übereinstimmungen zum Standardverfahren erreicht werden.

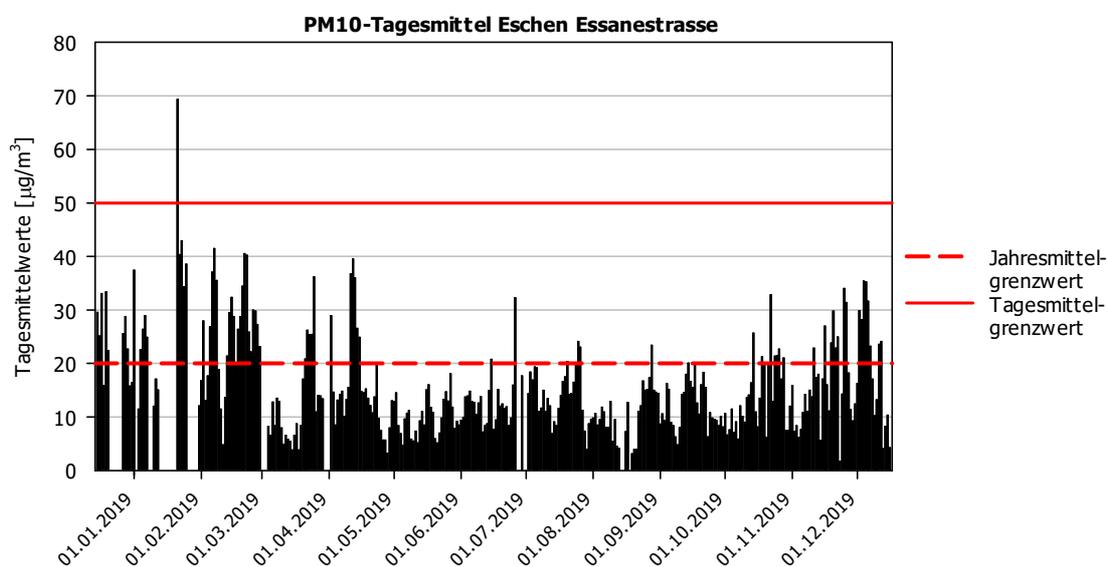
Die Anforderungen gemäss der Empfehlung „Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen“ des BAFU aus dem Jahr 2021 bezüglich Anzahl gültiger Messwerte (90% der Halbstundenmittelwerte) sowie kein Ausfall von mehr als 10 aufeinanderfolgenden Tagen wurden eingehalten.

## 5. RESULTATE PM10

Im folgenden Kapitel werden, in Anlehnung an die bisherigen Jahresberichte, die Resultate der Feinstaubmessungen dargestellt. In Kapitel 6 erfolgt eine Darstellung der im Jahr 2011 erstmals parallel mit den Feinstaubmessungen durchgeführten Stickoxidmessungen.

### 5.1. TAGESMITTELWERTE

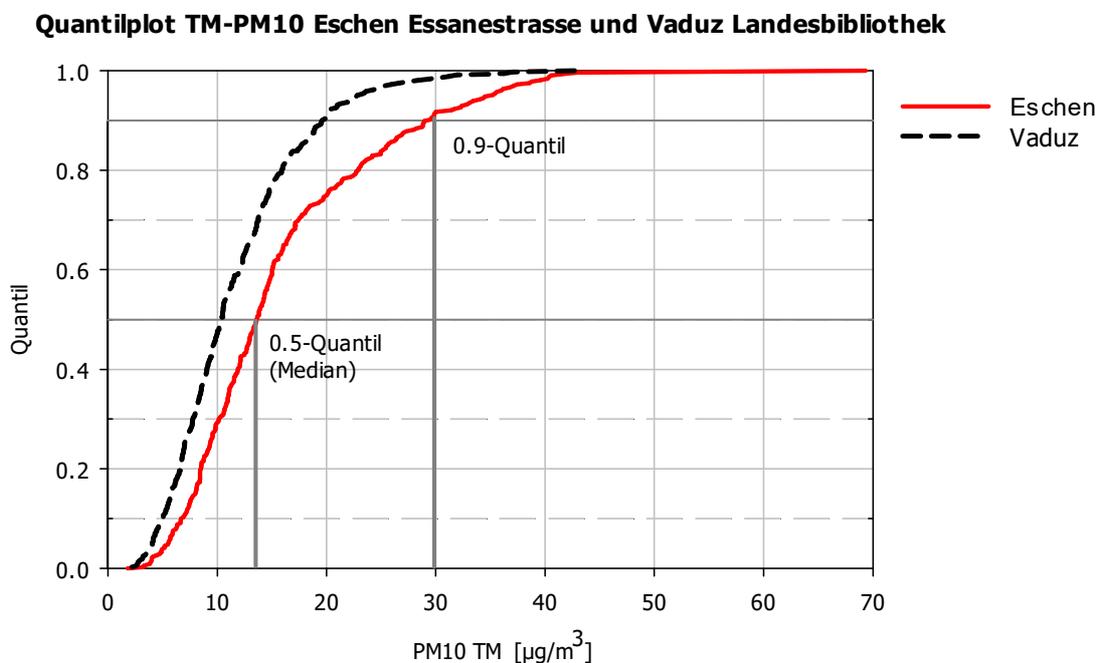
Eine Übersicht aller Tagesmittelwerte (TM) kann dem Anhang 1 entnommen werden. In Abbildung 1 ist der Verlauf der Tagesmittelwerte der gesamten Messperiode dargestellt. Während des Messzeitraumes wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einmal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert ( $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde am 21. Januar 2019 gemessen. Tagesmittelwerte über dem Jahresmittelgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden am Standort Eschen an 83 Tagen gemessen, die mittlere Belastung im Zeitraum zwischen dem 14. Dezember 2018 und 17. Dezember 2019 beträgt  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Langzeit-Immissionsgrenzwert (Jahresmittel) von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde somit eingehalten. Am Standort Vaduz Landesbibliothek wurde im selben Zeitraum mit  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eine deutlich geringere PM10-Konzentration registriert.



**Abbildung 1** Tagesmittelwerte 2019 am Standort Eschen Essanestrasse

Auf dem Quantilplot (Abbildung 2) ist nochmals gut ersichtlich, dass die Konzentrationen am Standort Eschen höher waren als bei der Landesbibliothek Vaduz. Das 0.9-Quantil beträgt in Eschen  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10 % der Tagesmittelwerte

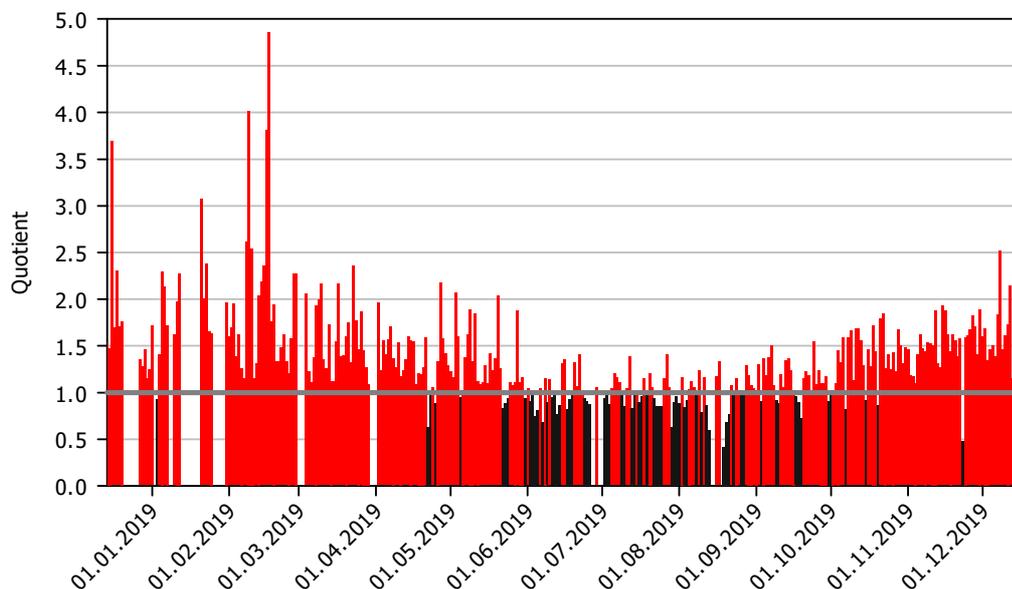
höher als  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sind. In Vaduz liegt das 0.9-Quantil bei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Median (0.5-Quantil) beträgt  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Eschen bzw.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Vaduz.



**Abbildung 2** Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte 2019 an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

In Abbildung 3 wird dargestellt an welcher Station der Tagesmittelwert jeweils höher war. In fast 80 % der Tage, an denen an beiden Stationen Tagesmittelwerte vorhanden sind, war die Feinstaubbelastung in Eschen höher als in Vaduz. Am deutlichsten ist der Unterschied in den kühleren Jahreszeiten. Während der Monate Dezember 2018 bis einschliesslich April 2019 war an lediglich 4 Tagen das Tagesmittel in Vaduz höher als in Eschen. Ein ähnliches Bild zeigt sich von Oktober bis Dezember 2019. Die im Vergleich zu Vaduz höhere Belastung in Eschen während kühleren Monaten kann ein Hinweis auf die Beeinflussung der Feinstaubbelastung durch Quellen wie beispielsweise Feuerungen in der Umgebung sein.

### Quotient aus Tagesmittel PM10 Eschen Essanestrasse über Vaduz Landesbibliothek

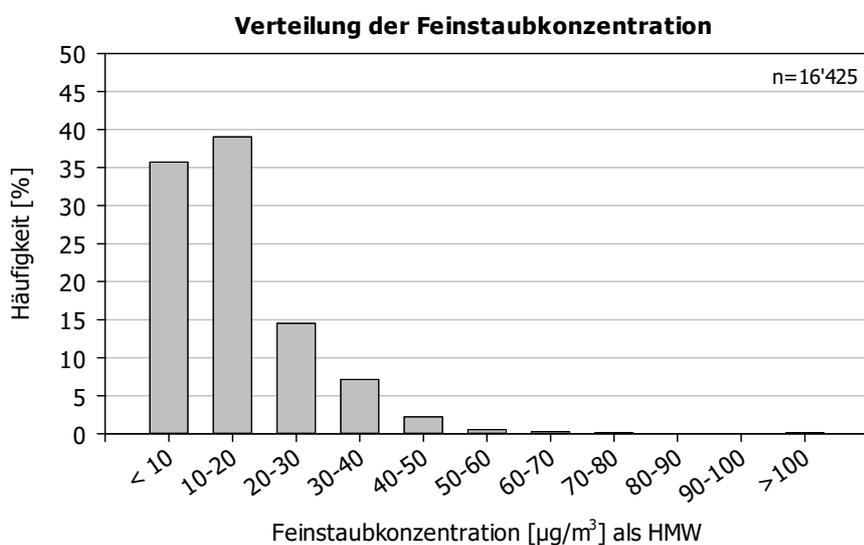


**Abbildung 3** Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Eschen Essanestrasse über Vaduz Landesbibliothek vom Dezember 2018 bis Dezember 2019. Rote Balken → Belastung am Standort Eschen ist höher als in Vaduz; schwarze Balken → Die Belastung in Vaduz war höher als in Eschen. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung am Standort Eschen um den Faktor 2 höher als jene am Standort Vaduz.

## 5.2. KURZZEITBELASTUNGEN

Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 25 % 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 1.3 % der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 4).

Für kurzzeitige Feinstaubbelastungen (Halbstundenmittelwerte) sind keine Grenzwerte festgelegt.



**Abbildung 4** Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) im Jahr 2019 am Standort Eschen Essanestrasse

### 5.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde mit einem Jahresmittelwert von  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei der Essanestrasse in Eschen eingehalten. Mit nur einem Tagesmittelwert  $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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.

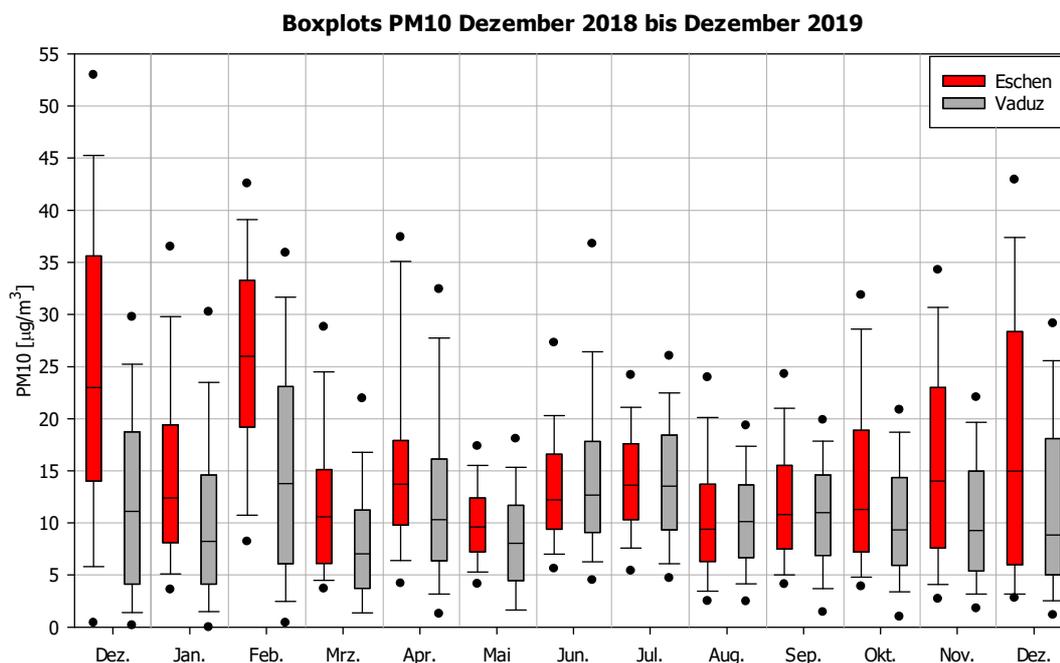
**Tabelle 1** Übersicht der relevanten PM10-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

<b>Standort</b>	<b>JMW</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Max. TMW</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Anzahl Tage</b> <b><math>&gt;50 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
Eschen Essanestrasse	16	69	1
Vaduz <sup>1)</sup>	11	43	0
Immissionsgrenzwert	20	-	3

<sup>1)</sup> Quelle: Datenbank Ostluft

### 5.4. JAHRESVERLAUF

In Abbildung 5 sind Boxplots der PM10-Halbstundenmittelwerte vom Dezember 2018 bis Dezember 2019 ersichtlich. Die monatlichen Boxplots der Standorte Eschen Essanestrasse zeigen insbesondere im Frühling und Sommer einen ähnlichen Verlauf wie diejenigen der Ostluft-Messstation Vaduz. In den Wintermonaten sind nicht nur die Mediane der PM10-Halbstundenmittelwerte Eschen höher als die der Station Vaduz, sondern auch die Feinstaubkonzentrationsschwankungen grösser.



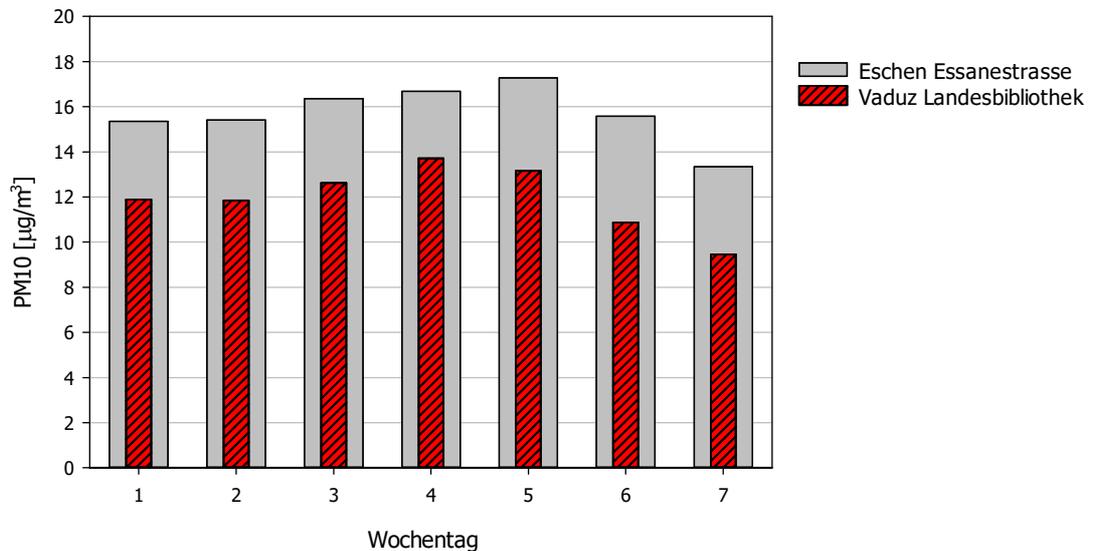
**Abbildung 5** Boxplots der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Lesebeispiel: Das 0.90-Quantil des Monats Januar am Standort Eschen liegt bei  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , d.h. 90 % der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.5. WOCHENGANG

Die PM10-Wochengänge der Standorte Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek sind ähnlich, liegen jedoch in Eschen auf einem höheren Niveau (siehe Abbildung 6). Am Standort Eschen steigt die PM10-Konzentration mit fortschreitender Woche leicht an, wobei die Belastung am Freitag ihren Höhepunkt erreicht. An den Wochenenden zeigt sich jeweils eine Konzentrationsabnahme. In Vaduz ist die Feinstaubbelastung im Durchschnitt am Donnerstag am höchsten.

Die Freitage waren am Standort Eschen Essanestrasse 30 % stärker belastet als die durchschnittlichen Sonntage. In Vaduz ist der Unterschied zwischen dem Tag mit den niedrigsten (Sonntag) und dem Tag der höchsten Feinstaubbelastung (Donnerstag) mit 45 % grösser. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass an beiden Messstandorten anthropogene Emissionen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten.

### Wochengang Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

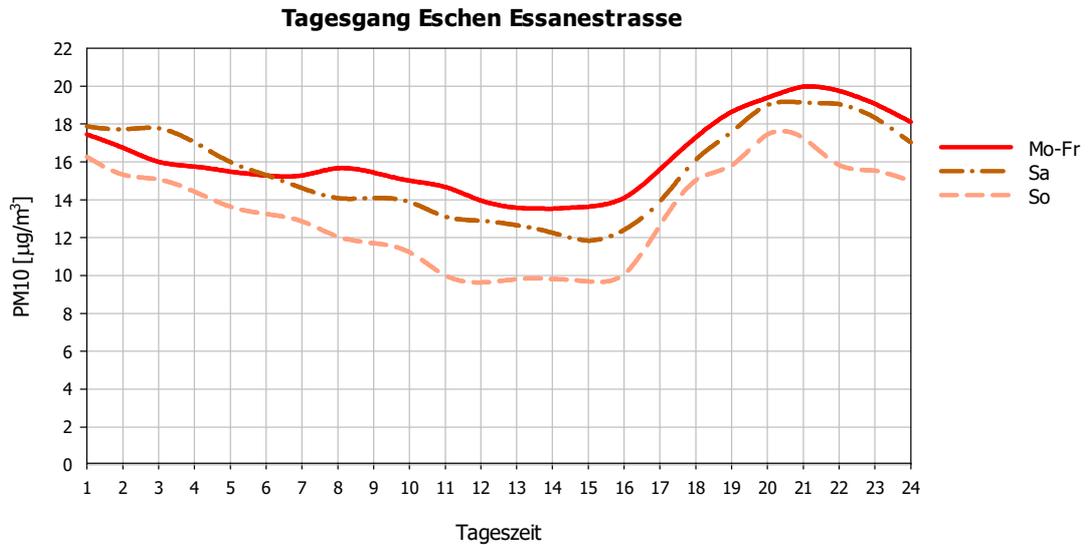


**Abbildung 6** Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019) am Standort Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

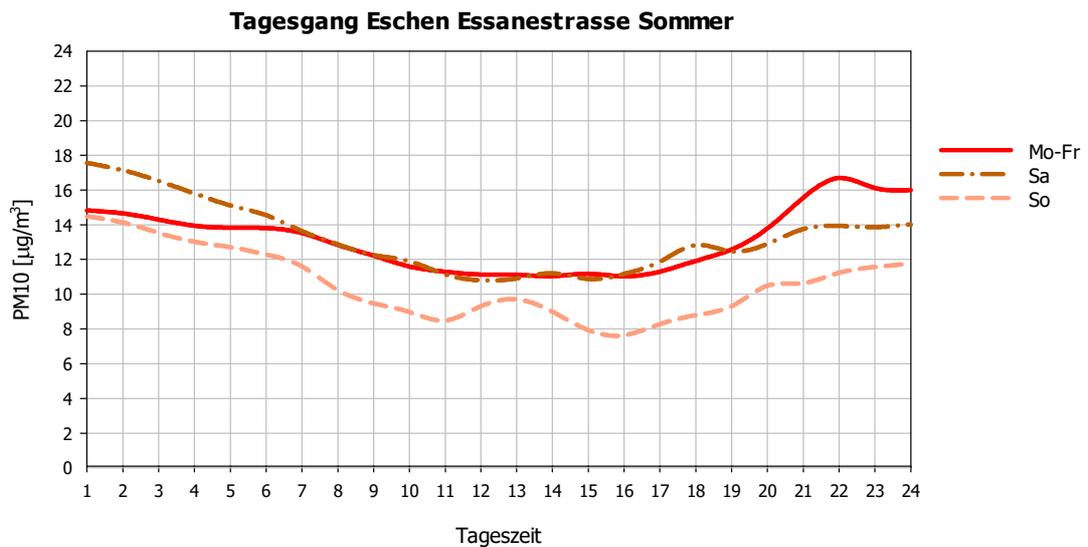
## 5.6. TAGESGANG

Wie aus der Abbildung 7 hervorgeht, schwanken die PM10-Konzentrationen an Werktagen im Mittel in einem Bereich zwischen  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in der Mittagszeit und  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den späten Abendstunden. Eine erste kleine Konzentrationsspitze zeigt sich jeweils um ca. 08:00 Uhr. Im Laufe des späten Nachmittags steigt die Feinstaubbelastung bis am Abend stetig an. In Abbildung 8 (Tagesgang Sommer) fällt der Anstieg in den Abendstunden geringer aus. Dies kann ein Hinweis auf Einflüsse auf die Feinstaubkonzentration durch beispielsweise Heizaktivitäten (Holzfeuerungen etc.) sein.

An den Wochenenden ist der Tagesverlauf dem der Werktage ähnlich, jedoch ist die Konzentration am Samstag und Sonntag im Mittel niedriger. Es wird angenommen, dass die Differenz zwischen den Belastungen an Sonn- und Werktagen zur Hauptsache durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch den Strassenverkehr, Feuerungen sowie industrieller und gewerblicher Tätigkeiten, verursacht wurde.

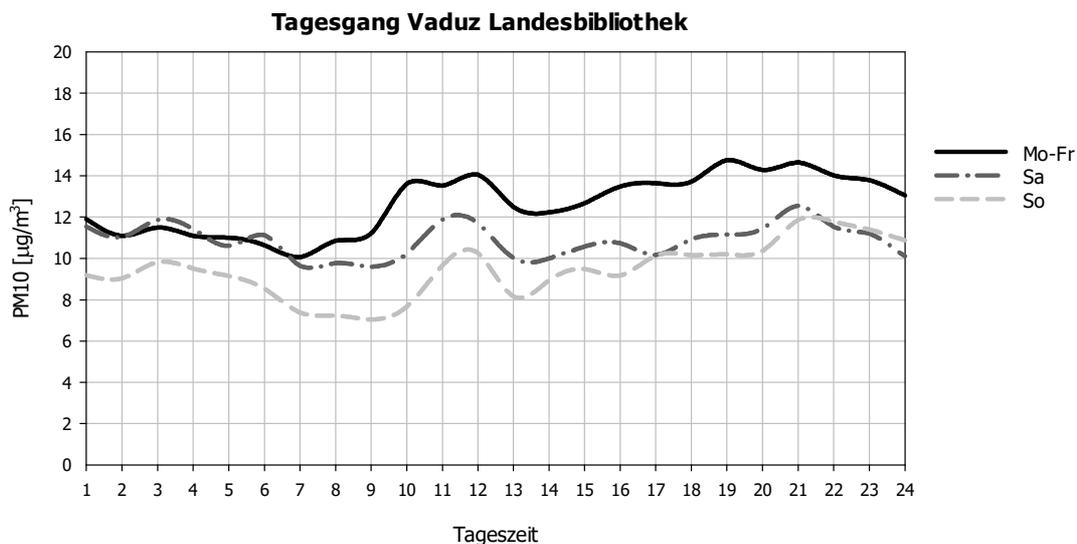


**Abbildung 7** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen Essanestrasse ( $\bar{\varnothing}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)



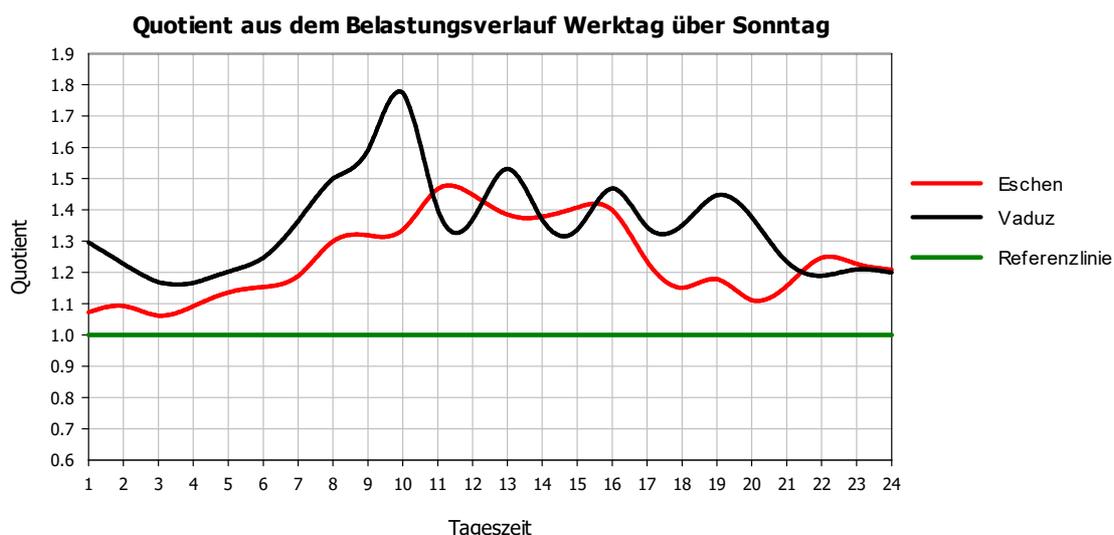
**Abbildung 8** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen Essanestrasse ( $\bar{\varnothing}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Juni 2019 bis und mit August 2019 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

Zum Vergleich ist in Abbildung 9 der Tagesgang am Ostluft-Messstandort Vaduz Landesbibliothek angeführt. Dieser ist bezüglich der Konzentrationsdifferenz zwischen Werk- und Wochenendtagen dem Standort Eschen ähnlich. Die Belastungsspitzen im Tagesverlauf fallen jedoch anders aus. In Vaduz sind im Gegensatz zur Essanestrasse Eschen Belastungsspitzen am Vormittag bzw. am Mittag ersichtlich. Diese treten sowohl an Werktagen als auch am Wochenende auf, wobei an Werktagen bereits am Vormittag der erste Feinstaubanstieg auftritt.



**Abbildung 9** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

In Abbildung 10 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek aufgeführt. Die beiden Verläufe unterscheiden sich vor allem am Tag und in den Abendstunden. In Eschen sind insbesondere am Vormittag bis in den frühen Nachmittag Unterschiede zwischen Werk- und Sonntagen ersichtlich. Zwischen 11:00 Uhr und 12:00 Uhr ist die Feinstaubbelastung an Werktagen fast 1.5-mal höher als am Sonntag. In Vaduz ist der Belastungsunterschied gegen 10:00 Uhr am grössten. Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass bei steigendem Quotienten auch der anthropogene Anteil an der Gesamtbelastung am jeweiligen Standort steigt.



**Abbildung 10** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2018 bis Dezember 2019). Lesebeispiel: Am Standort Vaduz sind die mittleren PM10-Konzentrationen morgens um 11:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.4 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit. Der Wert 1 (dunkelgrüne Linie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

## 6. RESULTATE STICKOXIDE

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, liegt der Schwerpunkt der Messungen als auch der Auswertungen auf den Feinstaubmessungen. Da jedoch seit Dezember 2011 parallel zu den PM10-Messungen auch die Stickoxidkonzentration in der Aussenluft ermittelt wird, werden diese Resultate im vorliegenden Bericht zusammenfassend dargestellt.

In Tabelle 2 sind die in Bezug auf die geltenden Immissionsgrenzwerte relevanten Messresultate aufgeführt. Zum Vergleich sind zusätzlich die jeweiligen Resultate der Messstation Vaduz dargestellt. An der Essanestrasse Eschen wurde mit einem Jahresmittelwert von  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der Immissionsgrenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingehalten. Auch der Kurzzeit-Grenzwert wurde mit einem maximalen Tagesmittelwert von  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen am 7. Februar 2019, eingehalten. In Vaduz wurden die geltenden LRV-Grenzwerte für Stickstoffdioxid ebenso deutlich eingehalten. Die Differenz der beiden Jahresmittel von  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zeigt, dass sich die Belastungssituation an beiden Standorten deutlich unterscheidet. Der Messstandort bei der Landesbibliothek Vaduz liegt abseits der Strasse und ist wenig vom Verkehr beeinflusst. Der Standort in Eschen liegt wiederum direkt bei der Essanestrasse.

**Tabelle 2** Übersicht der relevanten  $\text{NO}_2$ -Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

Standort	JMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	95%-Perzentil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Max. TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Tage >80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Tage]
Eschen Essanestrasse	23	57	67	0
Vaduz <sup>1)</sup>	14	43	64	0
<b>Immissionsgrenzwert</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	-	<b>1</b>

<sup>1)</sup> Quelle: Datenbank Ostluft

**Tabelle 3** Übersicht der relevanten  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_x$ -Messergebnisse

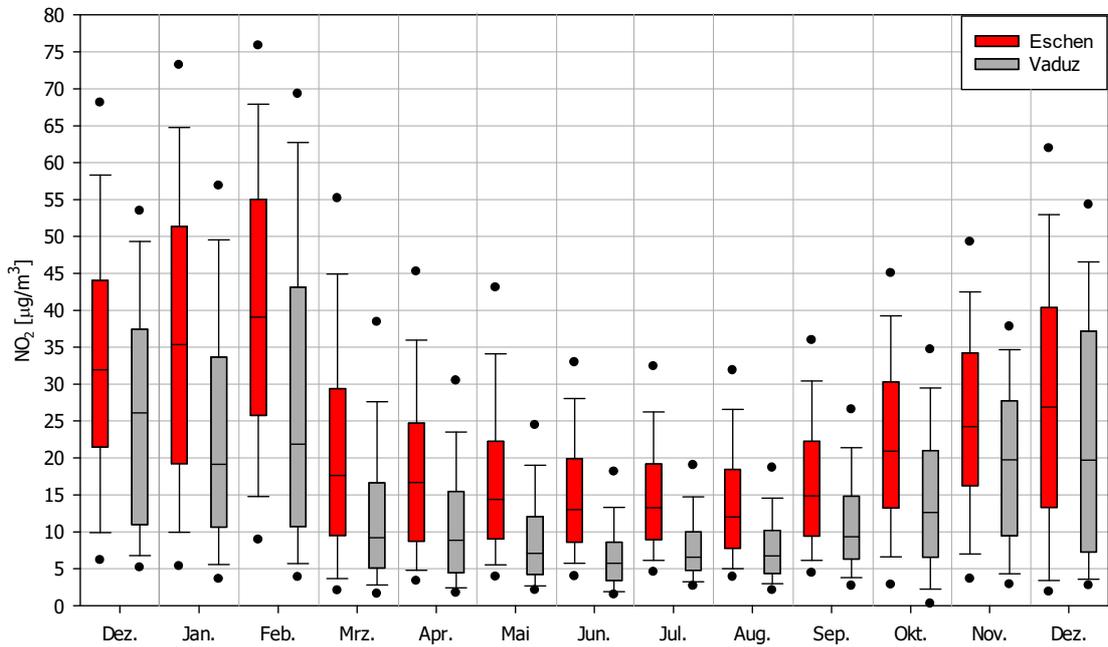
Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	$\text{NO}_x$ [ppb]	$\text{NO}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	$\text{NO}_x$ [ppb]	$\text{NO}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Eschen Essanestrasse	23	14	91	83
Vaduz <sup>1)</sup>	10	4	64	47

<sup>1)</sup> Quelle: Datenbank Ostluft

Der Vergleich der  $\text{NO}_2$ -Tagesmittelwerte sowie der Boxplots der Halbstundenmittelwerte (siehe Abbildung 11) des Standortes Eschen mit Vaduz zeigt klar, dass während des Messzeitraums die Belastung in Eschen höher war als in Vaduz. An 347 Tagen wurden in Eschen höhere Tagesmittelwerte registriert als in Vaduz.

In Abbildung 11 wird zusätzlich der monatliche Verlauf der  $\text{NO}_2$ -Messwerte an beiden Messstationen dargestellt. Die Mediane der Stickstoffdioxidbelastung in Eschen sind durchgehend auf einem höheren Niveau als in Vaduz.

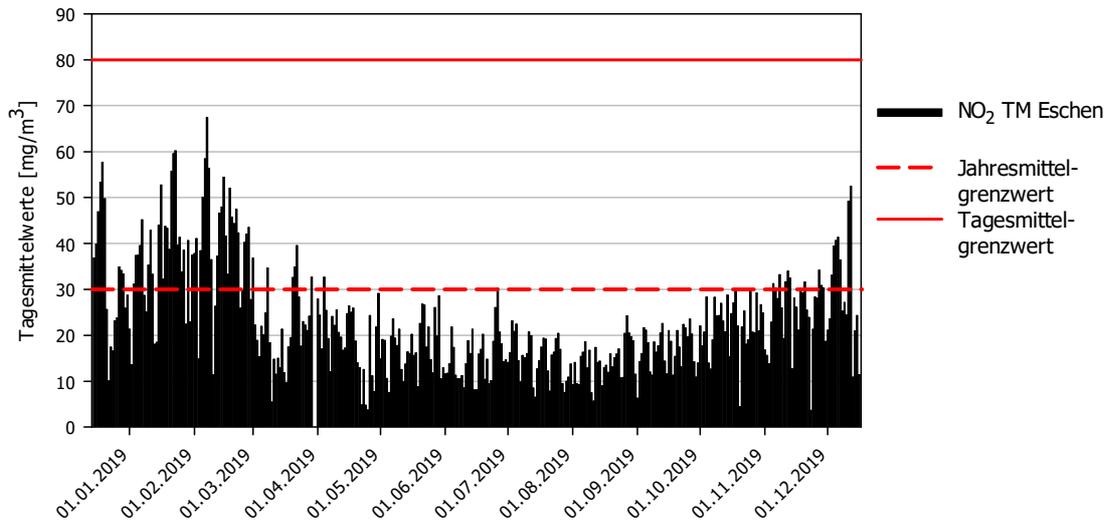
Boxplots NO<sub>2</sub> Dezember 2018 bis Dezember 2019



**Abbildung 11** Boxplots der NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Lesebeispiel: Das 0.75-Quantil des Monats Februar am Standort Eschen liegt bei 55 µg/m<sup>3</sup>, d.h. 75% der erfassten Halbstundenmittelwerte lagen im Februar unter 55 µg/m<sup>3</sup>.

Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte des Messstandorts Eschen kann der Abbildung 12 entnommen werden. Wie bereits erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup>.

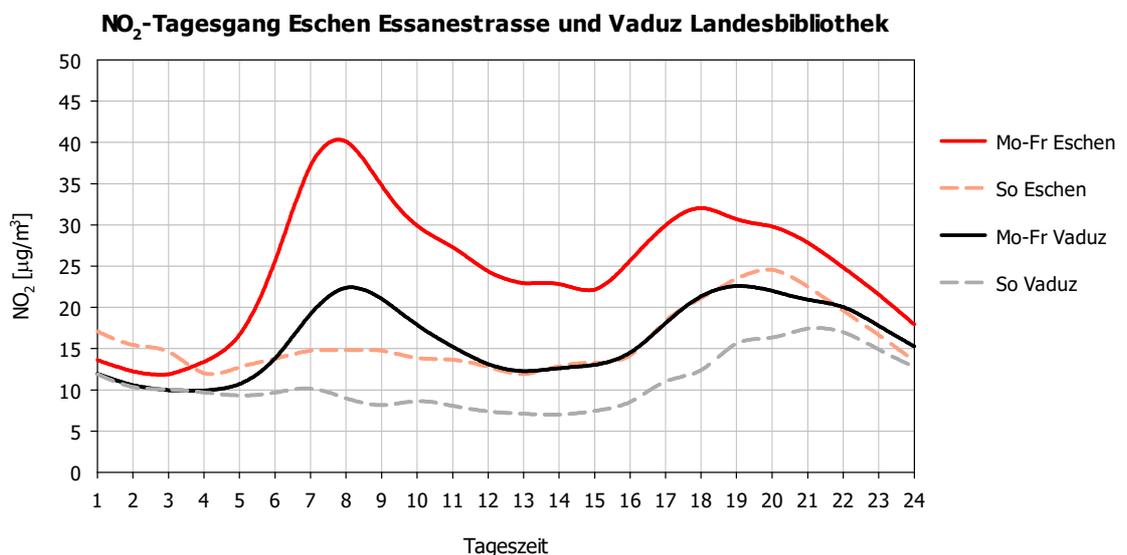
NO<sub>2</sub>-Tagesmittel Eschen Essanestrasse



**Abbildung 12** NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte am Standort Eschen Essanestrasse

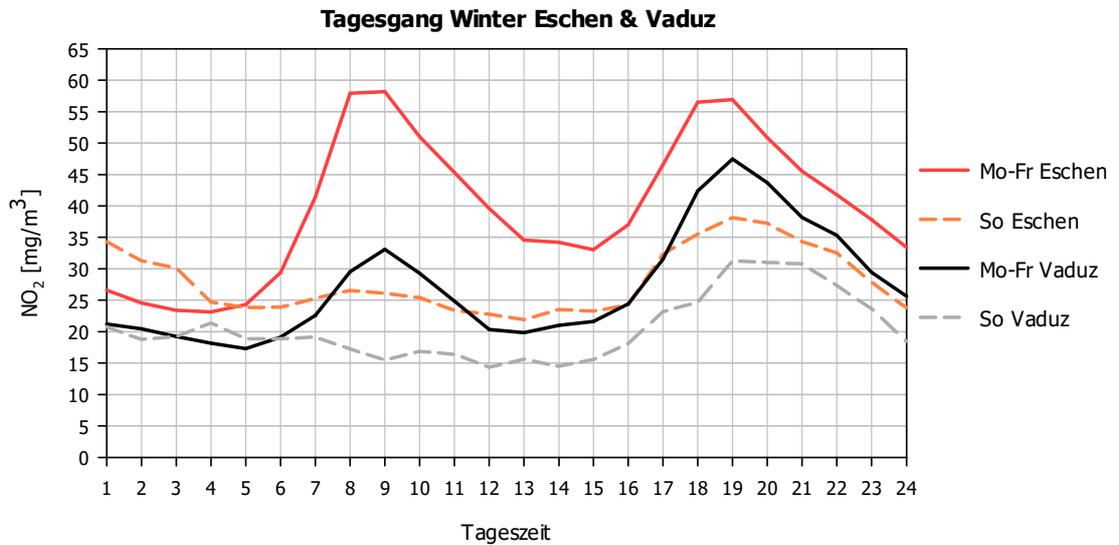
In Abbildung 13 ist der mittlere NO<sub>2</sub>-Tagesgang während des Messzeitraums dargestellt. Dieser weist im Tagesverlauf deutliche Schwankungen auf. Die NO<sub>2</sub>-Belastung an den Werktagen zeigt an den Standorten Eschen und Vaduz einen ähnlichen Verlauf, wenn auch auf einem unterschiedlich hohen Niveau. Die maximale Belastung wird werktags an beiden Standorten im Mittel um 08:00 Uhr erreicht. Die NO<sub>2</sub>-Konzentration steigt in Eschen von 04:00 Uhr bis 08:00 Uhr im Durchschnitt um 28 µg/m<sup>3</sup> an. Gegen Abend kann an beiden Messstandorten ein weiterer Belastungsanstieg beobachtet werden.

Am Sonntag sind die werktags auftretenden morgendlichen Konzentrationsanstiege kaum zu beobachten. Am späteren Abend wiederum finden sonntags deutliche Belastungsanstiege statt. Im Folgenden wird noch genauer auf die NO<sub>2</sub>-Belastungsunterschiede zwischen Werk- und Sonntagen eingegangen.



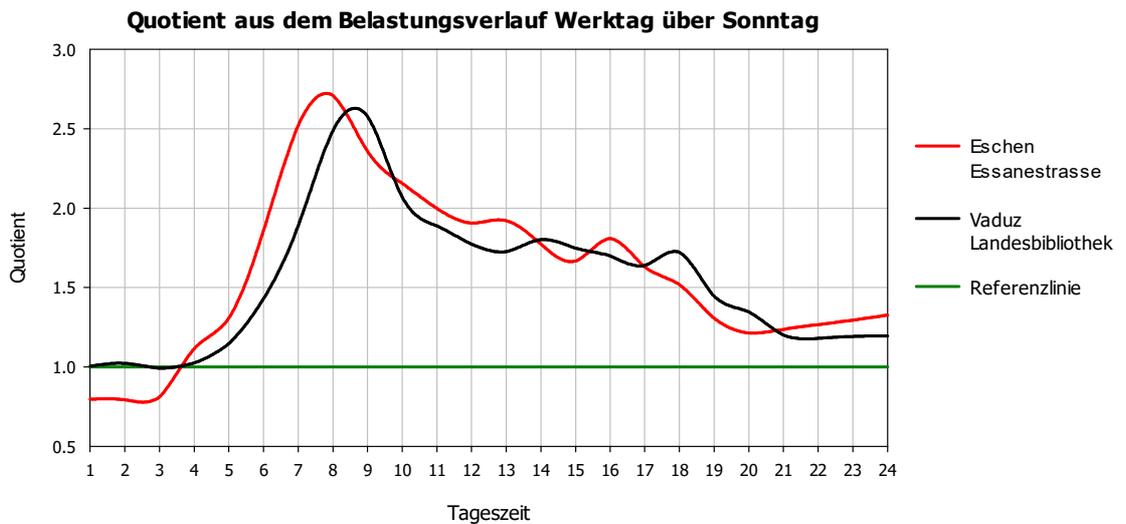
**Abbildung 13** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

In Abbildung 14 ist der NO<sub>2</sub>-Tagesgang während den Wintermonaten dargestellt. Wie im ganzjährigen Tagesgang (siehe Abbildung 13), werden auch in diesem Zeitraum an beiden Messstandorten werktags die Spitzenbelastungen am Morgen und am frühen Abend erreicht. An Sonntagen wurden im Mittel in den Abendstunden die höchsten Konzentrationen gemessen. Auch im Winter ist die Belastung an Sonntagen auf einem niedrigeren Niveau als an Werktagen.



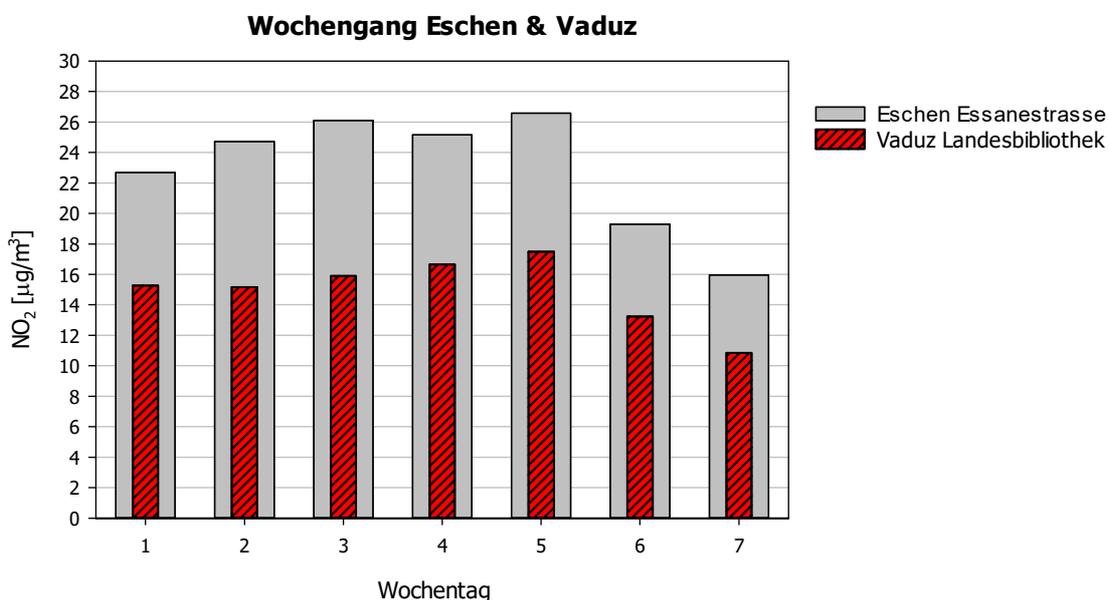
**Abbildung 14** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2018 bis und mit Februar 2019 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

Der Unterschied zwischen den Stickstoffdioxidbelastungen an Werktagen und sonntags ist in Abbildung 15 dargestellt. Am Standort Eschen Essanestrasse ist die Belastung in den Morgenstunden werktags deutlich höher als an Sonntagen. Bei der Landesbibliothek Vaduz sind die genannten Belastungsunterschiede (bezogen auf den Quotienten) ähnlich. Am Standort Eschen wurden beispielsweise Werktags in den Morgenstunden zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr mehr als doppelt so hohe Stickstoffdioxidkonzentrationen gemessen als an Sonntagen. Auf Basis des Verlaufs der Quotienten in Abbildung 15 ist anzunehmen, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung am Standort Eschen Essanestrasse stark vom Strassenverkehr beeinflusst wird.



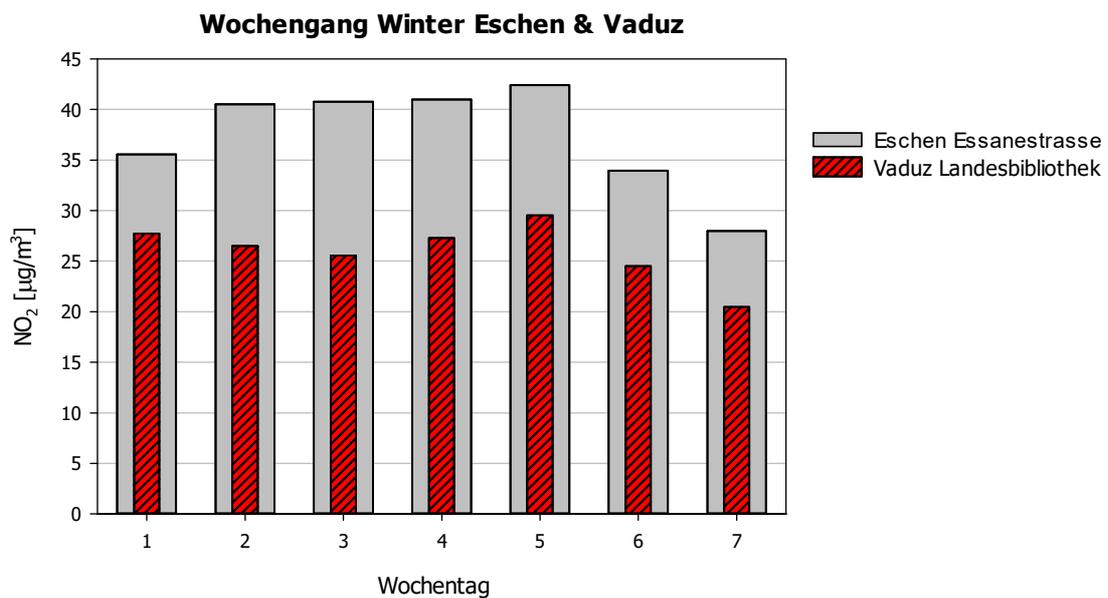
**Abbildung 15** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2018 bis Dezember 2019). Lesebeispiel: Am Standort Eschen Essanestrasse sind an Werktagen die mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 10:00 Uhr und 11:00 Uhr um den Faktor 2 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit. Der Wert 1 (dunkelgrüne Linie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

In Abbildung 16 ist der durchschnittliche Wochengang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Messstandorten in Eschen und Vaduz dargestellt. An beiden Standorten fanden im Mittel die höchsten Belastungen an Freitagen und die niedrigsten an Sonntagen statt. Am Standort Eschen Essanestrasse war die durchschnittliche NO<sub>2</sub>-Belastung an Freitagen um 70 % höher als an Sonntagen. Am Standort Vaduz Landesbibliothek war die Belastung am Freitag um 60 % höher als am Sonntag. Solch ein Verlauf, mit den höchsten Konzentrationen an den Werktagen, ist für stark verkehrsexponierte Standorte üblich. Am Samstag und Sonntag wurden, aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens sowie geringerer Aktivitäten im Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungssektor, deutlich tiefere Konzentrationen gemessen.



**Abbildung 16** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2018 bis Dezember 2019) am Standort Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

Der Wochengang der Winter-Messwerte zeigt, dass an beiden Standorten die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Vergleich zum Wochengang der gesamten Messperiode deutlich höher sind (siehe Abbildung 17). Auch in der Wintersaison sind die NO<sub>2</sub>-Belastungen im Mittel am Freitag am höchsten.



**Abbildung 17** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2018 bis und mit Februar 2019) am Standort Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
14.12.2018	39	51
15.12.2018	30	37
16.12.2018	25	40
17.12.2018	33	47
18.12.2018	20	53
19.12.2018	33	58
20.12.2018	22	50
21.12.2018	---	26
22.12.2018	---	10
23.12.2018	---	17
24.12.2018	---	17
25.12.2018	---	23
26.12.2018	---	24
27.12.2018	26	35
28.12.2018	29	34
29.12.2018	23	33
30.12.2018	16	26
31.12.2018	16	29
01.01.2019	37	21
02.01.2019	---	14
03.01.2019	12	31
04.01.2019	23	37
05.01.2019	26	37
06.01.2019	29	40
07.01.2019	25	45
08.01.2019	---	29
09.01.2019	---	25
10.01.2019	12	35
11.01.2019	17	43
12.01.2019	15	33
13.01.2019	---	18
14.01.2019	---	18
15.01.2019	---	44
16.01.2019	---	53
17.01.2019	---	32
18.01.2019	---	44
19.01.2019	---	43
20.01.2019	---	39
21.01.2019	69	56
22.01.2019	40	60
23.01.2019	43	60
24.01.2019	34	40

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
25.01.2019	39	41
26.01.2019	---	34
27.01.2019	---	39
28.01.2019	---	22
29.01.2019	---	41
30.01.2019	---	23
31.01.2019	12	37
01.02.2019	17	38
02.02.2019	28	41
03.02.2019	13	15
04.02.2019	18	38
05.02.2019	27	50
06.02.2019	37	58
07.02.2019	41	67
08.02.2019	36	56
09.02.2019	19	36
10.02.2019	12	11
11.02.2019	5	26
12.02.2019	14	37
13.02.2019	21	47
14.02.2019	30	48
15.02.2019	32	54
16.02.2019	29	42
17.02.2019	20	33
18.02.2019	26	52
19.02.2019	29	46
20.02.2019	34	44
21.02.2019	41	47
22.02.2019	40	42
23.02.2019	26	26
24.02.2019	22	30
25.02.2019	30	40
26.02.2019	30	42
27.02.2019	27	43
28.02.2019	23	28
01.03.2019	---	37
02.03.2019	---	---
03.03.2019	---	19
04.03.2019	8	15
05.03.2019	7	22
06.03.2019	13	20
07.03.2019	8	25

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
08.03.2019	14	35
09.03.2019	13	18
10.03.2019	8	5
11.03.2019	5	15
12.03.2019	7	12
13.03.2019	6	15
14.03.2019	6	13
15.03.2019	4	21
16.03.2019	7	12
17.03.2019	9	10
18.03.2019	4	17
19.03.2019	8	19
20.03.2019	17	33
21.03.2019	21	35
22.03.2019	26	40
23.03.2019	25	28
24.03.2019	25	18
25.03.2019	36	23
26.03.2019	11	22
27.03.2019	14	21
28.03.2019	14	24
29.03.2019	13	33
30.03.2019	---	---
31.03.2019	---	---
01.04.2019	---	28
02.04.2019	29	24
03.04.2019	15	17
04.04.2019	9	33
05.04.2019	13	25
06.04.2019	14	19
07.04.2019	15	12
08.04.2019	10	24
09.04.2019	13	22
10.04.2019	16	26
11.04.2019	37	21
12.04.2019	40	20
13.04.2019	36	17
14.04.2019	27	17
15.04.2019	25	25
16.04.2019	15	26
17.04.2019	15	25
18.04.2019	15	26

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
19.04.2019	14	19
20.04.2019	12	14
21.04.2019	11	13
22.04.2019	14	5
23.04.2019	20	13
24.04.2019	10	5
25.04.2019	7	4
26.04.2019	6	24
27.04.2019	6	11
28.04.2019	3	8
29.04.2019	8	22
30.04.2019	13	29
01.05.2019	13	15
02.05.2019	15	19
03.05.2019	8	19
04.05.2019	7	11
05.05.2019	5	8
06.05.2019	10	20
07.05.2019	11	24
08.05.2019	11	19
09.05.2019	6	18
10.05.2019	6	21
11.05.2019	7	13
12.05.2019	5	10
13.05.2019	9	14
14.05.2019	11	16
15.05.2019	9	16
16.05.2019	15	20
17.05.2019	16	16
18.05.2019	12	16
19.05.2019	11	9
20.05.2019	6	23
21.05.2019	5	27
22.05.2019	7	27
23.05.2019	10	17
24.05.2019	13	22
25.05.2019	15	15
26.05.2019	13	12
27.05.2019	18	26
28.05.2019	12	20
29.05.2019	8	29
30.05.2019	9	10

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
31.05.2019	9	13
01.06.2019	9	12
02.06.2019	10	12
03.06.2019	14	14
04.06.2019	14	22
05.06.2019	15	17
06.06.2019	13	11
07.06.2019	13	11
08.06.2019	10	10
09.06.2019	13	11
10.06.2019	14	9
11.06.2019	7	14
12.06.2019	8	19
13.06.2019	9	16
14.06.2019	15	21
15.06.2019	21	8
16.06.2019	8	8
17.06.2019	9	16
18.06.2019	15	17
19.06.2019	12	20
20.06.2019	12	10
21.06.2019	12	15
22.06.2019	12	9
23.06.2019	8	10
24.06.2019	10	19
25.06.2019	16	26
26.06.2019	32	30
27.06.2019	---	21
28.06.2019	---	18
29.06.2019	18	14
30.06.2019	---	15
01.07.2019	---	14
02.07.2019	14	16
03.07.2019	18	23
04.07.2019	17	21
05.07.2019	19	22
06.07.2019	19	14
07.07.2019	11	10
08.07.2019	12	16
09.07.2019	15	15
10.07.2019	11	16
11.07.2019	13	21

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
12.07.2019	12	20
13.07.2019	7	9
14.07.2019	9	7
15.07.2019	8	13
16.07.2019	12	14
17.07.2019	14	17
18.07.2019	17	19
19.07.2019	18	19
20.07.2019	20	12
21.07.2019	14	8
22.07.2019	14	16
23.07.2019	17	16
24.07.2019	20	19
25.07.2019	24	20
26.07.2019	23	17
27.07.2019	11	10
28.07.2019	7	8
29.07.2019	4	10
30.07.2019	9	11
31.07.2019	10	14
01.08.2019	10	9
02.08.2019	11	14
03.08.2019	9	9
04.08.2019	10	9
05.08.2019	12	15
06.08.2019	11	16
07.08.2019	8	19
08.08.2019	8	13
09.08.2019	13	17
10.08.2019	5	7
11.08.2019	10	6
12.08.2019	5	17
13.08.2019	4	14
14.08.2019	---	14
15.08.2019	---	9
16.08.2019	7	13
17.08.2019	13	13
18.08.2019	---	12
19.08.2019	3	16
20.08.2019	4	13
21.08.2019	4	15
22.08.2019	11	16

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
23.08.2019	12	17
24.08.2019	17	11
25.08.2019	15	11
26.08.2019	15	20
27.08.2019	17	24
28.08.2019	23	20
29.08.2019	15	20
30.08.2019	15	19
31.08.2019	14	12
01.09.2019	9	6
02.09.2019	11	14
03.09.2019	9	16
04.09.2019	16	22
05.09.2019	15	21
06.09.2019	9	18
07.09.2019	8	12
08.09.2019	6	11
09.09.2019	5	19
10.09.2019	8	16
11.09.2019	14	18
12.09.2019	15	21
13.09.2019	18	23
14.09.2019	20	14
15.09.2019	17	12
16.09.2019	16	21
17.09.2019	20	19
18.09.2019	13	11
19.09.2019	11	15
20.09.2019	16	21
21.09.2019	18	17
22.09.2019	16	13
23.09.2019	6	22
24.09.2019	11	22
25.09.2019	10	20
26.09.2019	10	23
27.09.2019	9	20
28.09.2019	9	14
29.09.2019	10	11
30.09.2019	8	14
01.10.2019	11	22

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
02.10.2019	7	18
03.10.2019	8	21
04.10.2019	12	28
05.10.2019	7	14
06.10.2019	9	13
07.10.2019	6	19
08.10.2019	12	28
09.10.2019	10	24
10.10.2019	9	24
11.10.2019	14	27
12.10.2019	14	23
13.10.2019	16	21
14.10.2019	26	29
15.10.2019	11	15
16.10.2019	8	25
17.10.2019	14	27
18.10.2019	21	30
19.10.2019	20	22
20.10.2019	6	4
21.10.2019	20	22
22.10.2019	33	25
23.10.2019	13	18
24.10.2019	21	19
25.10.2019	22	30
26.10.2019	23	21
27.10.2019	17	21
28.10.2019	21	29
29.10.2019	8	21
30.10.2019	8	27
31.10.2019	12	25
01.11.2019	16	17
02.11.2019	7	16
03.11.2019	8	14
04.11.2019	6	23
05.11.2019	8	31
06.11.2019	11	30
07.11.2019	14	28
08.11.2019	11	33
09.11.2019	15	26
10.11.2019	14	19

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
11.11.2019	23	32
12.11.2019	17	34
13.11.2019	18	32
14.11.2019	6	13
15.11.2019	17	28
16.11.2019	27	26
17.11.2019	16	21
18.11.2019	11	30
19.11.2019	24	29
20.11.2019	30	32
21.11.2019	23	25
22.11.2019	25	24
23.11.2019	2	4
24.11.2019	14	21
25.11.2019	34	28
26.11.2019	31	28
27.11.2019	18	34
28.11.2019	11	31
29.11.2019	9	30
30.11.2019	12	19
01.12.2019	16	21
02.12.2019	30	24
03.12.2019	28	33
04.12.2019	35	39
05.12.2019	35	41
06.12.2019	32	41
07.12.2019	23	36
08.12.2019	17	25
09.12.2019	10	27
10.12.2019	13	24
11.12.2019	24	49
12.12.2019	24	52
13.12.2019	4	11
14.12.2019	8	21
15.12.2019	10	24
16.12.2019	4	11
17.12.2019	3	4

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

## ANHANG II

### Messtandort



Quelle: Geodatenportal ltv.li