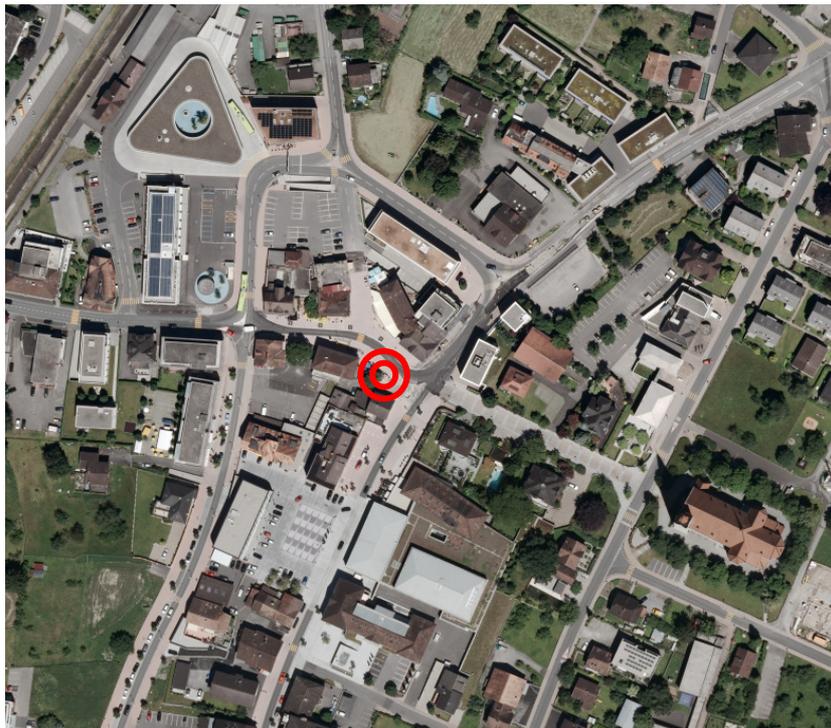


AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2017 AM STANDORT SCHAAN  
LINDENKREUZUNG



SCHAAN, APRIL 2018 / NADJA SPERANDIO, JÜRGEN BECKBISSINGER

Bericht\_Schaan\_2017\_01 / 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

<b>1. Zusammenfassung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Gemessene Schadstoffe .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Aufgabe .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
<b>5. Messgerät .....</b>	<b>3</b>
<b>6. Messdauer .....</b>	<b>4</b>
<b>7. Qualitätssicherung .....</b>	<b>4</b>
<b>8. Resultate PM10 .....</b>	<b>5</b>
<b>9. Resultate Stickoxide.....</b>	<b>14</b>
<b>10. Zusätzliche Auswertungen für PM10 und NO<sub>x</sub> .....</b>	<b>19</b>
 <b>Anhänge:</b>	
<b>I Tagesmittelwerte .....</b>	<b>21</b>
<b>II Übersichtskarte .....</b>	<b>24</b>

## IMPRESSUM:

Herausgeber:	Amt für Umwelt Liechtenstein
Inhalt:	Acontec AG, Schaan
Messungen:	Acontec AG, Schaan
Auswertungen:	Nadja Sperandio, Jürgen Beckbissinger, Acontec AG, Schaan
Bericht:	Nadja Sperandio, 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

Das Amt für Umwelt misst seit 2005 jeweils während eines Jahres Feinstaub- und seit 2011 auch Stickoxidkonzentrationen an verschiedenen Standorten. Diese Messungen erfolgen zusätzlich zu jenen im Rahmen von Ostluft an der fixen Station bei der Landesbibliothek Vaduz. In der Zeit vom 13. Dezember 2016 bis zum 12. Dezember 2017 wurden ergänzend in Schaan an der Lindenkreuzung mit einer mobilen Kleinmessstation kontinuierlich PM10- und NO<sub>x</sub>-Immissionsmessungen durchgeführt. Im vorliegenden Bericht werden die Messresultate der erwähnten Zeitperiode dargestellt.

Die durchschnittliche PM10-Belastung während der Messperiode (Jahresmittelwert) lag am Standort Schaan Lindenkreuzung bei 17 µg/m<sup>3</sup> und damit unter dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>. Die durchschnittliche NO<sub>2</sub>-Belastung lag bei 23 µg/m<sup>3</sup>. Der diesbezügliche Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> wurde damit unterschritten.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde während der einjährigen Messkampagne 6 Mal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 01. Januar 2017 mit 80 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Beim NO<sub>2</sub> wurde der Kurzzeitgrenzwert (max. Tagesmittelwert) knapp eingehalten. Das maximale Tagesmittel für NO<sub>2</sub> wurde am 28. Januar 2017 mit 71 µg/m<sup>3</sup> gemessen.

10% der PM10-Tagesmittelwerte (0.9-Quantil) lagen in der Zeitperiode vom 13. Dezember 2016 bis zum 12. Dezember 2017 über 30 µg/m<sup>3</sup>. In Vaduz betrug das 0.9-Quantil 25 µg/m<sup>3</sup>. Das 0.5-Quantil (Median) für PM10 lag in Schaan Lindenkreuzung bei 14 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz Landesbibliothek bei 12 µg/m<sup>3</sup>. Die entsprechenden Werte für NO<sub>2</sub> lagen bei 38 µg/m<sup>3</sup> in Schaan und 36 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz (0.9-Quantil) bzw. 20 µg/m<sup>3</sup> in Schaan und 14 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz (0.5-Quantil).

Wie anhand der Messungen der Jahre 2011 und 2013 am Standort Schaan Lindenkreuzung bereits aufgezeigt werden konnte, werden aktuell die PM10-Immissionsgrenzwerte nach wie vor nicht eingehalten. Damit künftig diese, als auch die NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwerte, flächendeckend unterschritten werden können, sind weiterhin massive Anstrengungen in verschiedensten Bereichen, wie beispielsweise Verkehr, Industrie, Gewerbe, Haushalte (Feuerungen), Bau- und Landwirtschaft notwendig. Die Weiterführung dieser Messungen wird den Erfolg oder Misserfolg der laufenden Massnahmen im Bereich der Luftreinhaltung aufzeigen.

## **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 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**

Im Zusammenhang mit den durchgeführten Messungen und Auswertungen werden als Stickoxide (NO<sub>x</sub>) die Summe aus den beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) bezeichnet. Eine wesentliche Quelle für Stickoxide sind Verbrennungsprozesse. Damit dient dieser Schadstoff in der Luftreinhaltung u.a. auch als Leitparameter für Verbrennungsemissionen. Neben direkter, negativer, gesundheitlicher Auswirkungen bei übermässigen Stickoxidkonzentrationen, beeinflussen NO als auch NO<sub>2</sub> die Ozonbildung sowie die Entstehung sekundären Feinstaubes. Insbesondere Stickstoffdioxid kann bei erhöhten Konzentrationen die Atmungsorgane reizen oder gar schädigen.

### **3. AUFGABE**

Die kontinuierliche Messung der Feinstaub- und Stickoxidimmissionen bilden heutzutage einen wichtigen Bestandteil der lufthygienischen Umweltüberwachung. Im Rahmen der gesetzlich geregelten Überwachungsfunktion, welche durch das Amt für Umwelt (AU) gewährleistet wird, erhielten wir, die Acontec AG, Schaan, den Auftrag, an verschiedenen durch das AU vorgegebenen Standorten, kontinuierliche Feinstaub- und seit dem Jahr 2011 auch Stickoxidmessungen durchzuführen. Mit diesen Messungen soll ein Überblick über die Belastungen an unterschiedlichen Standorten in Liechtenstein gewonnen werden. Nach Messungen im Herbst/Winter 2005/2006 und den Jahren 2008, 2011 sowie 2013, wurden vom 13. Dezember 2016 bis zum 12. Dezember 2017 in Schaan an der Lindenkreuzung erneut kontinuierliche Immissionsmessungen mit einer Kleinmessstation durchgeführt. Obwohl, wie erwähnt, im Jahr 2011 erstmals parallel auch Stickoxide gemessen wurden, liegt der Schwerpunkt der Auswertungen auf den PM10-Immissionsmessungen.

### **4. GRUNDLAGEN**

#### **4.1. MESSSTANDORT**

Die Messstation befand sich an der Lindenkreuzung in Schaan. Der Abstand zum Fahrbahnrand betrug ca. 2 m. Die Ansaughöhe lag auf ca. 2.5 m Höhe (vgl. Orthofoto im Anhang II).

### **5. MESSGERÄT**

#### **Feinstaub PM10**

Die Messung der Feinstaubkonzentration erfolgte kontinuierlich mit einem Staubmessgerät Model 5030 SHARP mit PM10-Messkopf. Der Monitor macht sich zwei unterschiedliche Messprinzipien zunutze. 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 sog. Chemilumineszenzmonitor (MLU 2000A). Das Messprinzip beruht darauf, dass bei der Oxidation von NO zu angeregtem NO<sub>2</sub> mit Ozon bei der Rückkehr des Moleküls in einen nicht angeregten Zustand ein Photon (Licht) abgegeben wird (Chemilumineszenz). Die Lichtmenge, welche sich proportional zur Konzentration verhält, wird im Messgerät kontinuierlich gemessen. Die Messwerte werden ebenfalls als Halbstundenmittelwerte erfasst. Die Berechnung der Massenkonzentrationen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) erfolgt gemäss den Umrechnungsfaktoren der Schweizer Empfehlung «Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen – Messempfehlungen» des Bundesamts für Umwelt (2004). Gemäss der erwähnten Empfehlung beruhen die Umrechnungsfaktoren für Stationen unter 1500 m.ü.M. - analog zum Vorgehen in der EU – auf einer Temperatur von 20°C und einem Druck von 1013.25 hPa.

## **6. MESSDAUER**

Die Auswertungen erfolgten mit den Messdaten der Periode vom 13. Dezember 2016 bis 12. Dezember 2017. Die Anforderungen gemäss der Empfehlung „Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen“ des BAFU vom Januar 2004 bezüglich Anzahl gültiger Messwerte (90% der Halbstundenmittelwerte) sowie kein Ausfall von mehr als 10 aufeinanderfolgenden Tagen wurden eingehalten.

## **7. 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 dessen Homepage veröffentlicht. Zirka alle 14 Tage wurden im Rahmen eines Stationsbesuches kleinere periodische Wartungsarbeiten, eine Prüfung des Stickoxidmonitors mit NO-Eichgas und Stickstoff 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 Geräte-

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

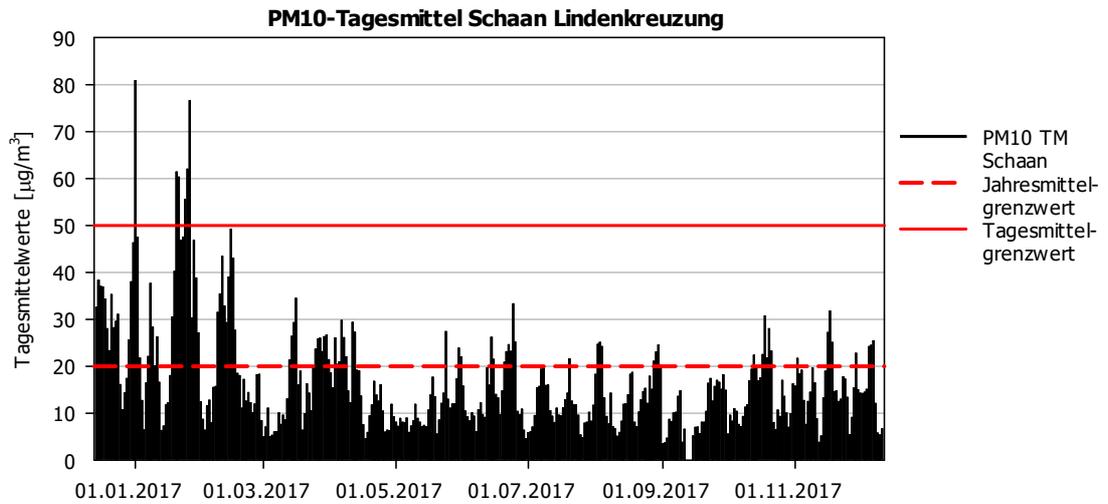
## 8. RESULTATE PM10

Im folgenden Kapitel werden, in Anlehnung an die bisherigen Jahresberichte, die Resultate der Feinstaubmessungen dargestellt. In Kapitel 9 erfolgt eine Darstellung der im 2011 erstmals parallel mit den Feinstaubmessungen durchgeführten Stickoxidmessungen. In Kapitel 0 werden zusätzlich Aspekte dargestellt, welche sich auf die Schadstoffe PM10 und NO<sub>x</sub> gleichermassen beziehen.

### 8.1. TAGESMITTELWERTE

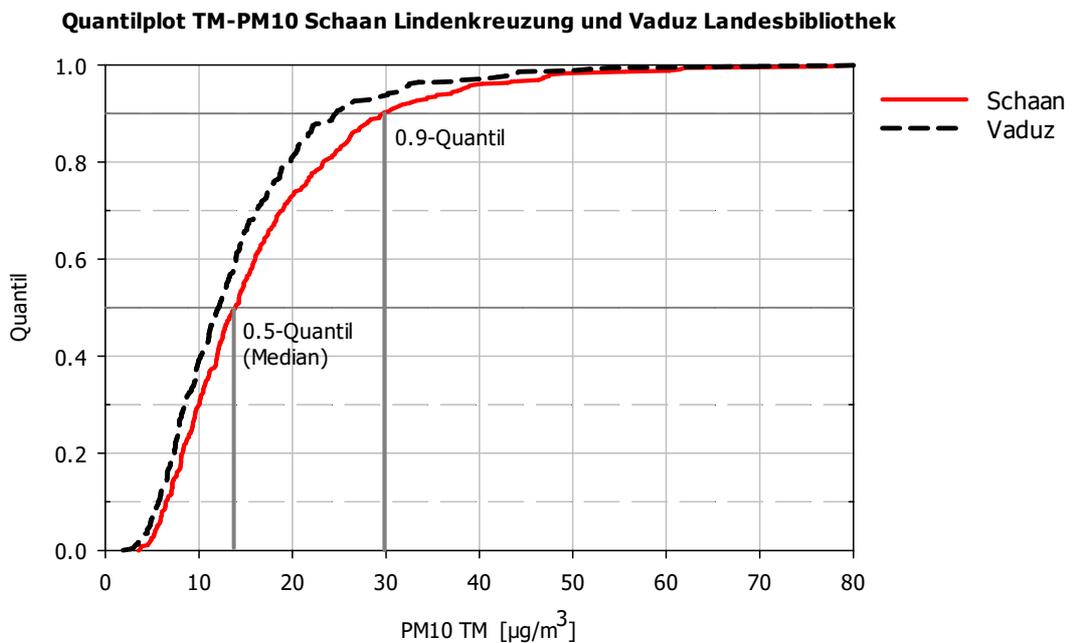
Eine Übersicht aller Tagesmittelwerte (TM) kann dem Anhang 1 entnommen werden. In Abbildung 1 ist der Verlauf der Tagesmittelwerte der gesamten Messperiode dargestellt. Während den insgesamt 360 Messtagen wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von 50 µg/m<sup>3</sup> 6 Mal überschritten. Zum Vergleich gab es beim Standort Vaduz Landesbibliothek zwei Überschreitungen.

Der höchste Tagesmittelwert wurde beim Standort Schaan am 01. Januar 2017 mit 81 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Tagesmittel über dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> wurden am Standort Schaan Lindenkreuzung an 97 Tagen (27%) gemessen. Die mittlere Konzentration in der Zeit vom 13. Dezember 2016 bis zum 12. Dezember 2017 lag in Schaan und Vaduz mit 17 µg/m<sup>3</sup> bzw. 13 µg/m<sup>3</sup> unter dem Immissionsgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 1** Tagesmittelwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017 am Standort Schaan Lindenkreuzung

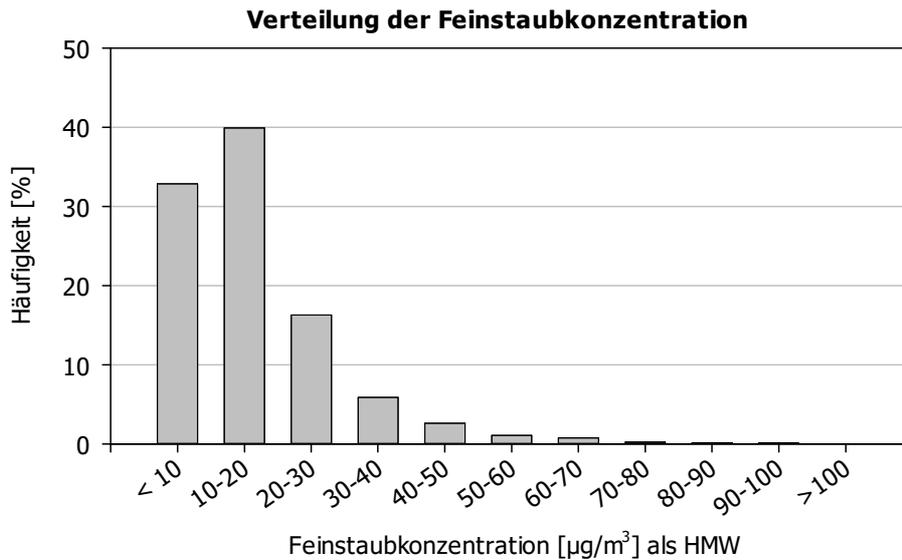
Wie aus dem Quantilplot (Abbildung 2) hervorgeht, lagen die Konzentrationen am Standort Schaan bei den dargestellten Quantilen höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek. Das 0.9-Quantil betrug in Schaan  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10% der Tagesmittelwerte über  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lagen. In Vaduz lag das 0.9-Quantil bei  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (20% tiefer als in Schaan). Das 0.5-Quantil (Median) war in Schaan mit  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 27% höher als in Vaduz ( $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Abbildung 2** Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte (Dezember 2016 bis Dezember 2017) an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

## 8.2. KURZZEITBELASTUNGEN

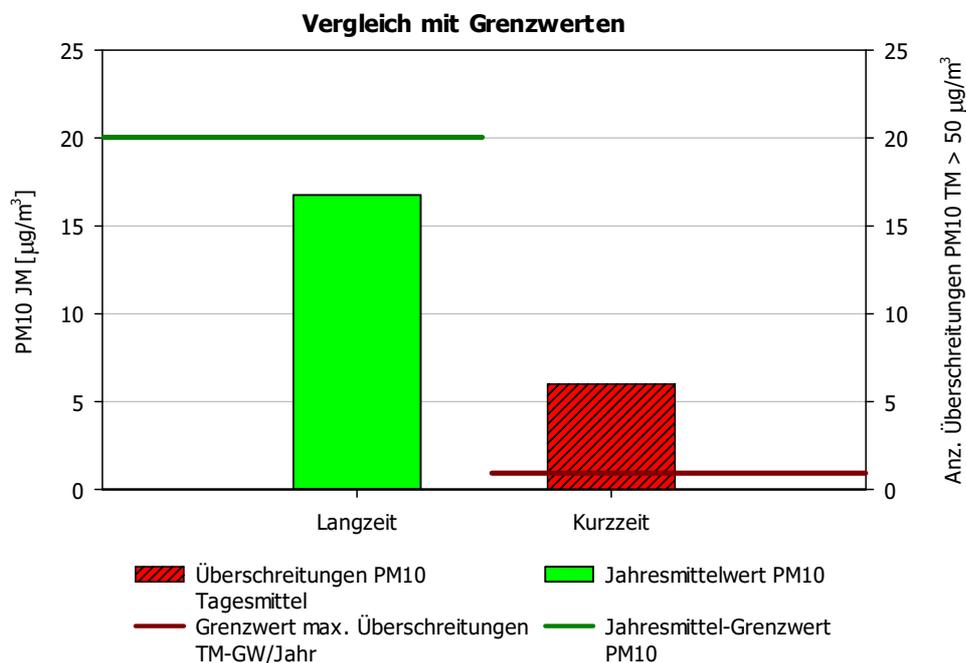
Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 27% der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konzentrationen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden während 2% der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 3).



**Abbildung 3** Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017) am Standort Schaan Lindenkreuzung

## 8.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Jahresmittelwert wird mit  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterschritten. Überschritten wird mit 6 Tagen der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit maximal einer erlaubten Überschreitung pro Jahr. In Abbildung 4 ist die Häufigkeit der Überschreitungen grafisch dargestellt.



**Abbildung 4** Vergleich der gemessenen PM10-Kurz- und -Langzeitmittelwerte am Standort Schaan Lindenkreuzung mit den geltenden PM10-Immissionsgrenzwerten

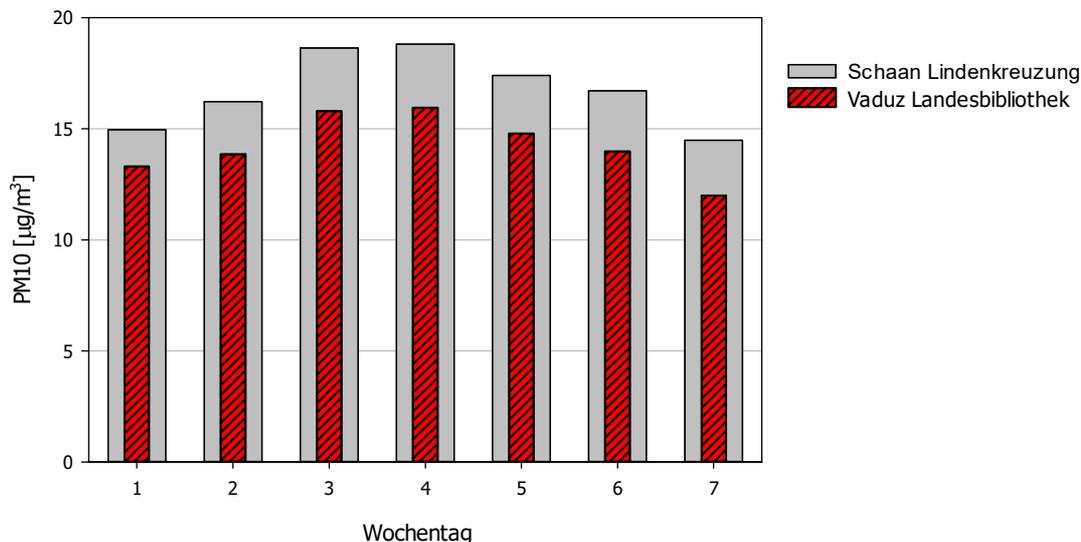
## 8.4. WOCHENGANG

Der Wochengang am Standort Schaan Lindenkreuzung ist dem des Standorts Vaduz Landesbibliothek ähnlich. Am Standort Schaan ist von Sonntag bis Donnerstag ein steter Anstieg der Konzentrationen erkennbar. Ab Donnerstag fällt die Belastung bis zum Sonntag kontinuierlich ab (Abbildung 5).

Am Standort Vaduz Landesbibliothek zeigt sich ein ähnlicher Belastungsverlauf, jedoch auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Der Donnerstag ist am Standort Schaan Lindenkreuzung im Durchschnitt um 30% stärker belastet als der durchschnittliche Sonntag. Am Standort Vaduz liegt dieser Wert bei 33%. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass an beiden Standorten anthropogene<sup>1</sup> Emissionen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten. Die absolute Differenz am Standort Schaan zwischen der durchschnittlichen Belastung am Donnerstag und jener am Sonntag betrug  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diese ist vergleichbar mit der Differenz derselben Tage am Standort Vaduz.

<sup>1</sup>Anthropogen bedeutet in diesem Zusammenhang vom Menschen verursacht bzw. beeinflusst

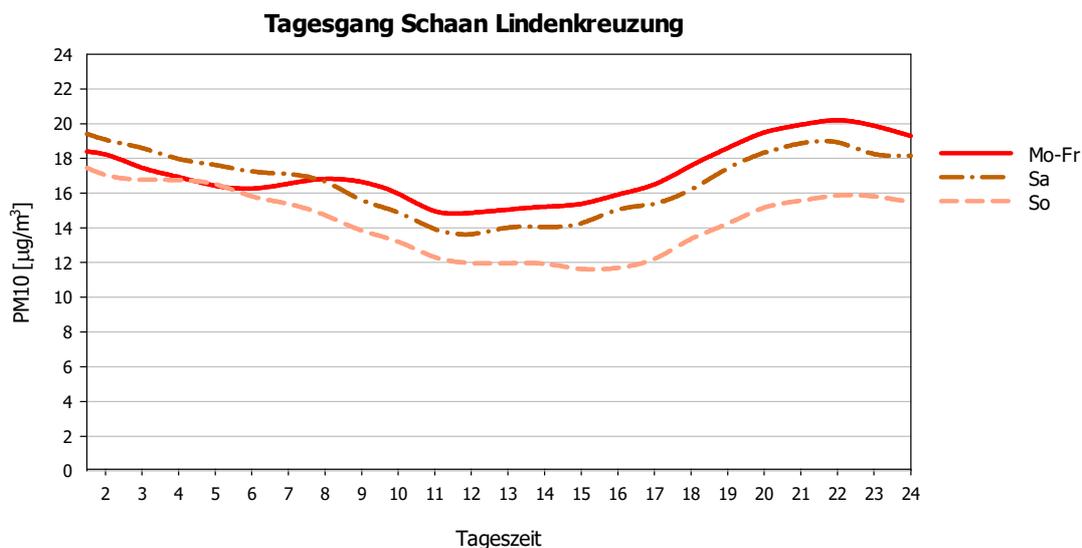
### Wochengang Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek



**Abbildung 5** Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2016 bis Dezember 2017) am Standort Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

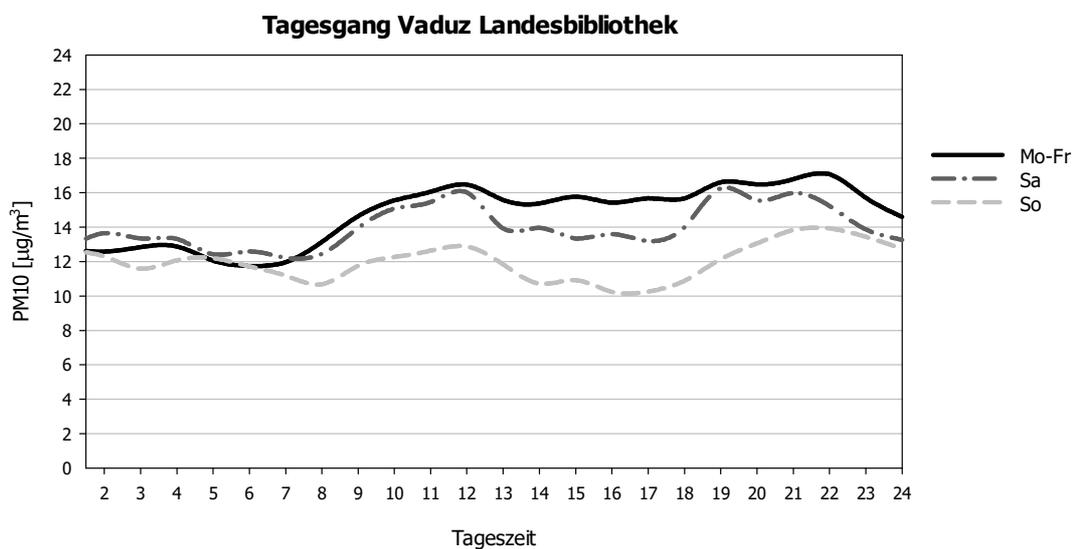
## 8.5. TAGESGANG

Wie aus der Abbildung 6 hervorgeht, schwanken die PM10-Konzentrationen an Werktagen im Mittel in einem Bereich zwischen  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in der Mittagszeit und knapp  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den späten Abendstunden. Morgens von 06:00 bis 08:00 Uhr ist ein Konzentrationsanstieg ersichtlich wobei die Belastung ab diesem Zeitpunkt bis zur Mittagszeit wieder sinkt. Von 12:00 bis 22:00 Uhr steigen die Konzentrationen dann wieder stetig an. An Sonntagen schwanken die Konzentrationen auf einem deutlich tieferen Niveau zwischen  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz zwischen den Belastungen an Sonn- und Werktagen zur Hauptsache durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch den Strassenverkehr sowie industrieller und gewerblicher Prozesse verursacht wird. Dies zeigt sich anhand der fehlenden Belastungszunahme am Sonntagmorgen.



**Abbildung 6** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Schaan Lindenkreuzung ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2016 bis Dezember 2017 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

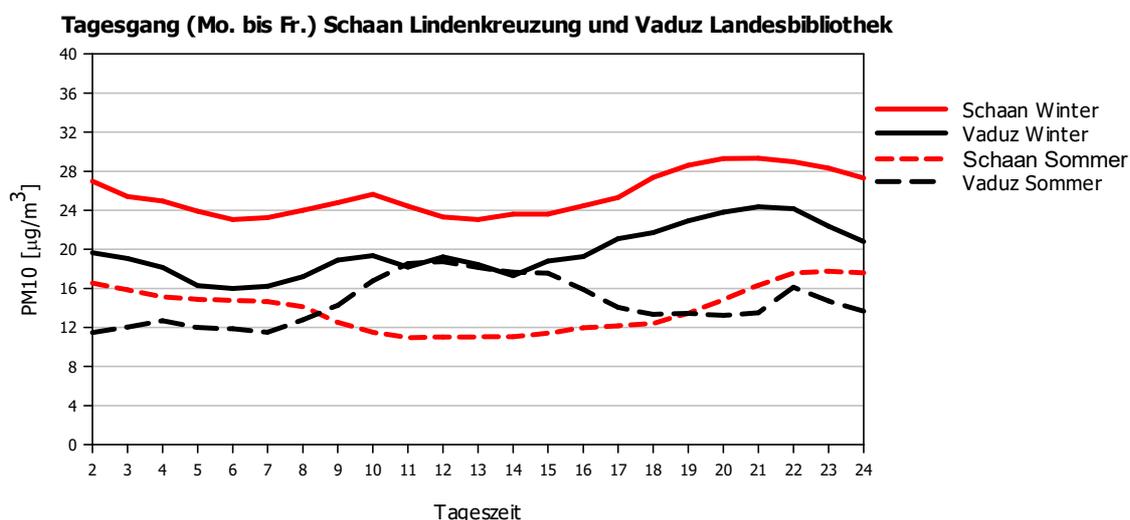
Als Vergleich ist in Abbildung 7 der Tagesgang am Ostluft-Messstandort Vaduz Landesbibliothek angeführt. In Vaduz sind mehrere Spitzen zu verzeichnen. Vom Morgen bis zur Mittagszeit findet ein kontinuierlicher Anstieg der PM10-Konzentration statt. Im Gegensatz zum Standort Schaan zeigt sich zur Mittagszeit in Vaduz eine Belastungsspitze.



**Abbildung 7** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2016 bis Dezember 2017 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

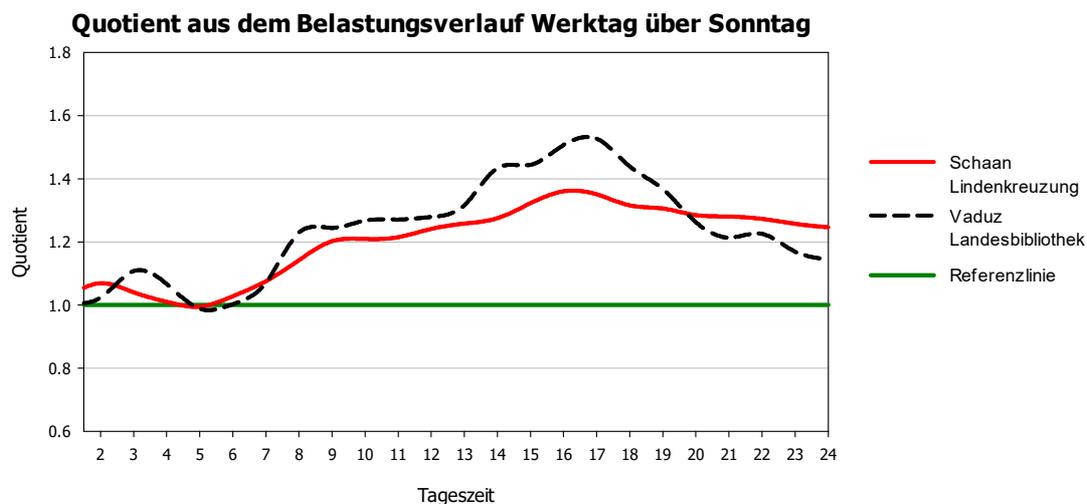
Die saisonalen Tagesgänge des Standorts Schaan Lindenkreuzung (vgl. Abbildung 8) weisen im Winter teilweise doppelt so hohe PM10-Konzentrationen auf. Der Verlauf der Belastung ist jedoch ähnlich. Am Standort Vaduz Landesbibliothek hingegen, zeigt sich ein sehr unter-

schiedlicher Konzentrationsverlauf. In den Mittagsstunden im Sommer zeigt sich eine deutliche Belastungsspitze, welche die PM10 Konzentration zur selben Uhrzeit im Winter erreicht. Die Ursachen dafür sind unklar. Die Ermittlung dieser bedürften weiterer Untersuchungen.



**Abbildung 8** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden im Winter (14.12.2016 bis 28.02.2017 und 01.12.2017 bis 12.12.2017) und im Sommer (01.06.2017 bis 31.08.2017))

In Abbildung 9 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek dargestellt. Die einzelnen Verläufe und die Ausprägtheit unterscheiden sich deutlich. Um 16:00 Uhr ist beim Standort Schaan die PM10-Konzentration an Werktagen um den Faktor 1.36 höher als an Sonntagen. Am Standort Vaduz ist dieser Unterschied zur selben Zeit mit einem Faktor 1.51 deutlich ausgeprägter.



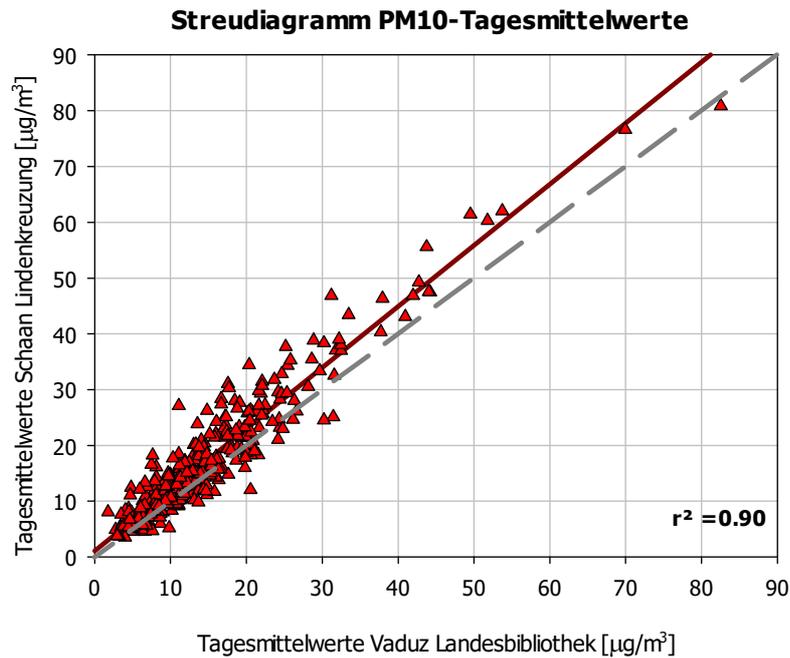
**Abbildung 9** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017). Lesebeispiel: Am Standort Schaan Lindenkreuzung sind die mittleren PM10-Konzentrationen am Morgen um 09:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.2 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit (09:00 Uhr). Der Wert 1 (siehe grüne Referenzlinie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

## 8.6. KORRELATION MIT MESSWERTEN ANDERER STANDORTE

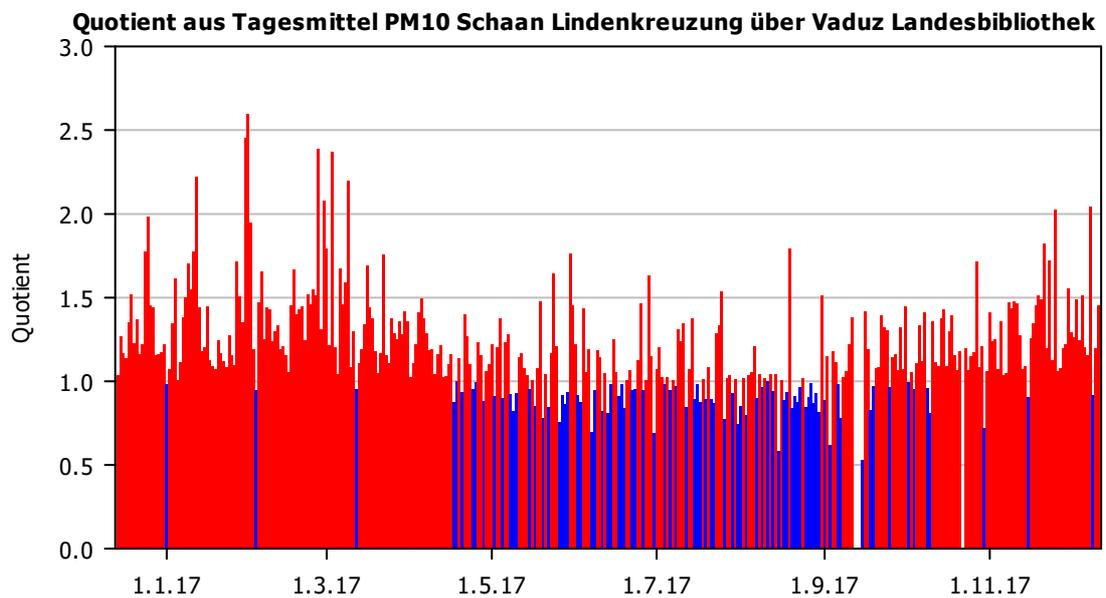
Die Tagesmittelwerte der Messungen am Standort Schaan Lindenkreuzung korrelieren vergleichsweise gut ( $r^2 = 0.90$ ) mit jenen an der Ostluft-Messstation Vaduz Landesbibliothek (vgl. Abbildung 10). Trotz des Standortwechsels der Ostluft-Messstation von der Austrasse zur Landesbibliothek Vaduz (2015) ist der Korrelationskoeffizient des Jahres 2016 vergleichbar mit jenen der Jahre 2011 und 2013 (0.88 bzw. 0.91).

An 83 der 359 Messtage (23%), an denen Messwerte beider Stationen vorliegen, wurden in Vaduz Landesbibliothek höhere Tagesmittelwerte als am Standort Schaan Lindenkreuzung registriert. 71 dieser 83 Tage lagen im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober). Das heisst, an 39% der Messtage des Sommerhalbjahrs waren die Tagesmittelwerte in Vaduz höher als in Schaan. Im Winterhalbjahr hingegen, wurden in Vaduz an lediglich 12 Tagen höhere Immissionsbelastungen registriert. In Schaan waren die PM10-Belastungen bei Konzentrationen im Bereich des Jahresmittelgrenzwertes ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Schaan Lindenkreuzung um 23% höher als in Vaduz<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 11).

<sup>2</sup>Die lineare Ausgleichsfunktion lautet  $y = 1.09x + 1.10$



**Abbildung 10** Streudiagramm der PM10-Tagesmittelwerte Schaan Lindenkreuzung und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2016 bis Dezember 2017)



**Abbildung 11** Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Schaan Lindenkreuzung über Vaduz Landesbibliothek von Dezember 2016 bis Dezember 2017. Rote Balken → Belastung am Standort Schaan Lindenkreuzung ist höher als in Vaduz; blaue Balken → Die Belastung an der Landesbibliothek in Vaduz war höher als in Schaan. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung am Standort Schaan Lindenkreuzung um den Faktor 2 höher als jene am Standort Vaduz Landesbibliothek

## 9. 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 Messungen der Stickoxidkonzentrationen durchgeführt wurden, werden auch diese Resultate im vorliegenden Bericht zusammenfassend dargestellt.

In Tabelle 1 und Tabelle 2 sind die in Bezug auf die geltenden Immissionsgrenzwerte relevanten Messresultate aufgeführt. Als Vergleich sind die jeweiligen Resultate der Messstation Vaduz dargestellt. An der Lindenkreuzung Schaan wurde im Messjahr 2017 der Immissionsgrenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Jahresmittelgrenzwert mit  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterschritten. In Vaduz an der Landesbibliothek wurde der LRV-Grenzwert für Stickstoffdioxid mit einem Jahresmittel von  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ebenso eingehalten. Am ca. 140 m entfernten<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessstandort „Schaan Lindenplatz Süd“ (vgl. Abbildung 12) wurde mit  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eine leicht höhere Belastung gemessen. Eine mögliche Ursache dieser Differenz ( $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) könnte die Entfernung der beiden Messstandorte zueinander sein. Zudem ist die Messunsicherheit von Passivsammlermessungen gegenüber jenen mit Monitoren deutlich höher.

---

<sup>3</sup> Luftlinie



**Abbildung 12** Situation Lindenkreuzung mit Messstandort für PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> kontinuierlich „Schaan Lindenkreuzung“ (roter Kreis) und NO<sub>2</sub>-Passivsammlerstandort „Lindenkreuzung Süd“ (blaues Dreieck). Quelle Karte: Geoportaal FL

**Tabelle 1** Übersicht der relevanten NO<sub>2</sub>-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

Standort	JMW [µg/m <sup>3</sup> ]	95%-Perzentil [µg/m <sup>3</sup> ]	Max. TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	Tage >80 µg/m <sup>3</sup> [Tage]
Schaan Lindenkreuzung	23	55	71	0
Vaduz Landesbibliothek <sup>1)</sup>	18	42	72	0
Immissionsgrenzwert	30	100	-	1

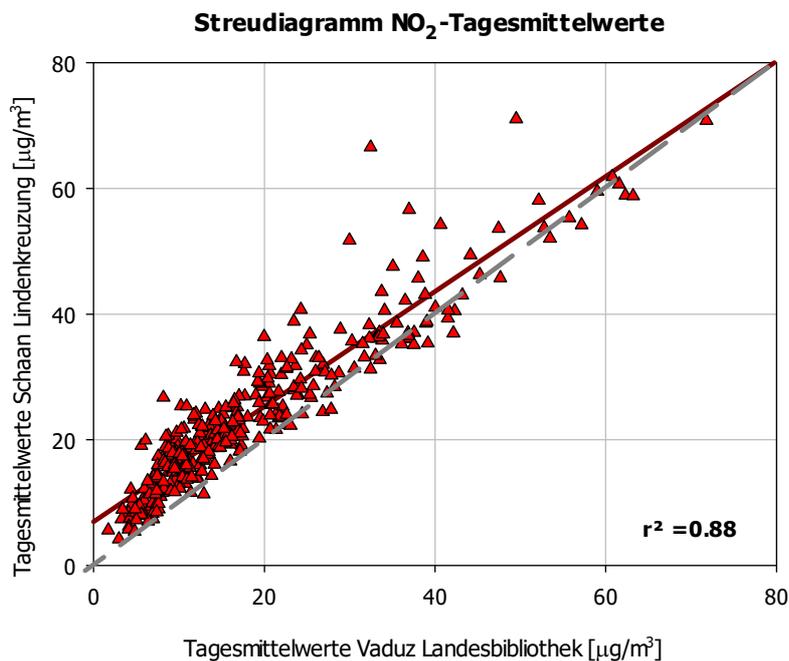
<sup>1)</sup> Quelle: Jahresbericht Ostluft

**Tabelle 2** Übersicht der relevanten NO<sub>x</sub>- und NO-Messergebnisse

Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	NO <sub>x</sub> [ppb]	NO [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [ppb]	NO [µg/m <sup>3</sup> ]
Schaan Lindenkreuzung	21	11	112	106
Vaduz <sup>1)</sup>	14	6	112	105

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

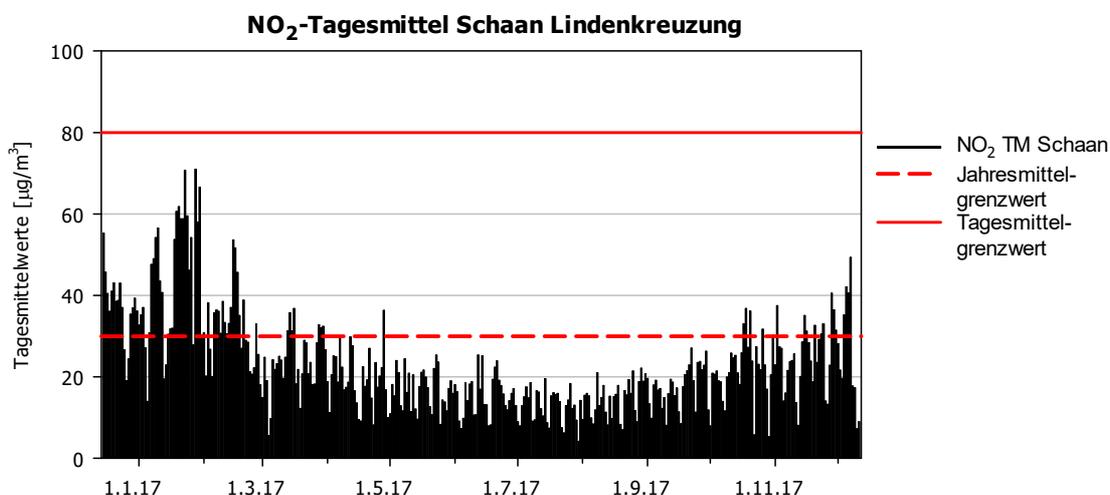
Anhand eines Vergleiches der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte der beiden Standorte kann festgestellt werden, dass die Belastung in Schaan, mit Ausnahme weniger Tage, höher war als in Vaduz (siehe Streudiagramm Abbildung 13). Der Verlauf der Ausgleichsgeraden zur gestrichelten Hilfslinie mit Steigung 1 zeigt, dass der Konzentrationsunterschied zwischen den beiden Standorten im Durchschnitt 7 µg/m<sup>3</sup> oder mehr beträgt<sup>4</sup>. Es gibt jedoch einzelne Tage, an denen am Standort Schaan deutlich höhere Belastungen als an der Landesbibliothek Vaduz gemessen wurden. So wurde beispielsweise am 30. Januar 2017 in Schaan ein Tagesmittelwert für NO<sub>2</sub> von 67 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz ein deutlich geringerer von lediglich 32 µg/m<sup>3</sup> gemessen.



**Abbildung 13** Streudiagramm der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte Schaan Lindenkreuzung und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2016 bis Dezember 2017)

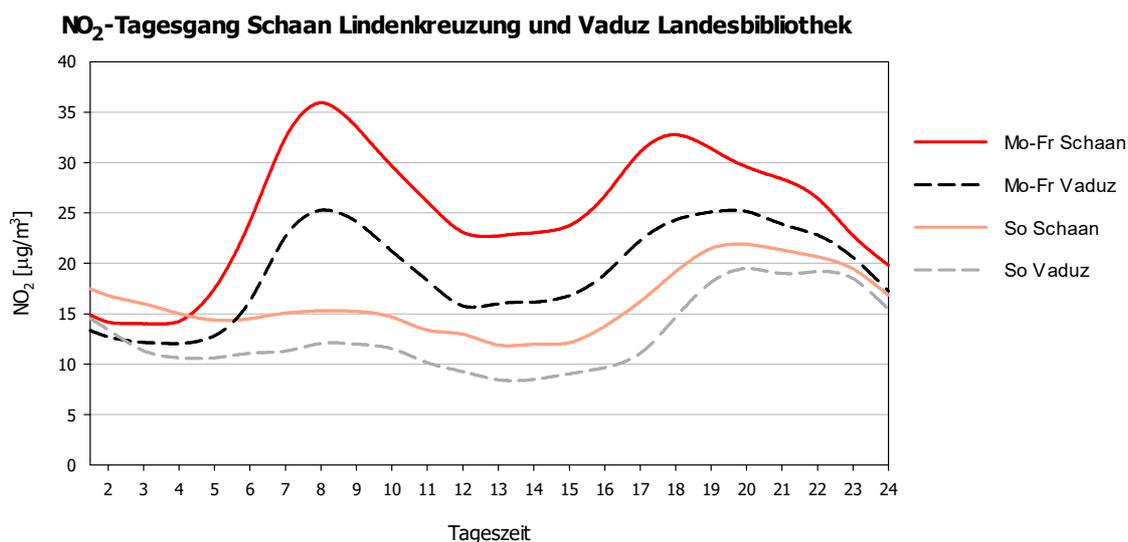
Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte ist in der Abbildung 14 dargestellt. Wie erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>4</sup> Lineare Ausgleichsfunktion  $0.9x+7.0$



**Abbildung 14** NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017 am Standort Schaan Lindenkreuzung

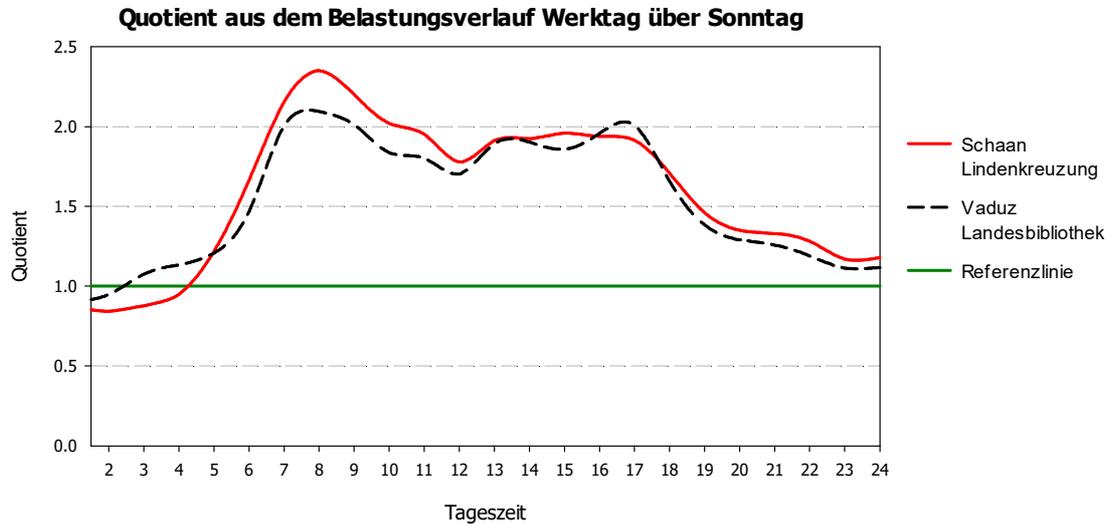
Der mittlere Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung unterliegt an beiden Standorten, vor allem an den Werktagen, starken Schwankungen, auf unterschiedlichem Niveau (vgl. Abbildung 15). Die NO<sub>2</sub>-Belastung in Schaan steigt im Durchschnitt (04:00 bis 08:00 Uhr) von 14 auf 36 µg/m<sup>3</sup> an. Hauptursache dieses Anstieges kann, aufgrund der deutlich tiefer gemessenen Werte an Sonntagen und dem durchgehenden Betrieb der Hausfeuerungen, dem Strassenverkehr zugeordnet werden.



**Abbildung 15** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundemittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2016 bis Dezember 2017 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

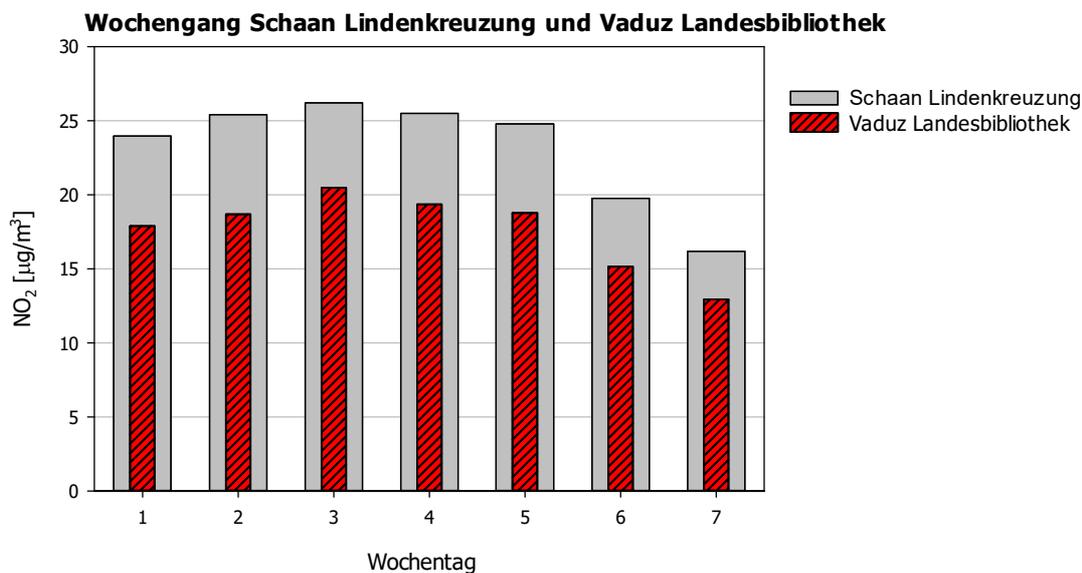
Die relativen Schwankungen der Tagesgänge zwischen Sonntagen und Werktagen sind an beiden Standorten ähnlich (vgl. Abbildung 16). So werden beispielsweise am Standort

Schaan werktags um 08:00 Uhr um den Faktor 2.4 höhere Belastungen gemessen als an Sonntagen. Am Standort Vaduz fällt der Quotient zur selben Zeit mit 2.1 geringer aus.



**Abbildung 16** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017). Lesebeispiel: An Werktagen sind im Standort Schaan Lindenkreuzung die mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen morgens um 08:00 Uhr um den Faktor 2.4 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.

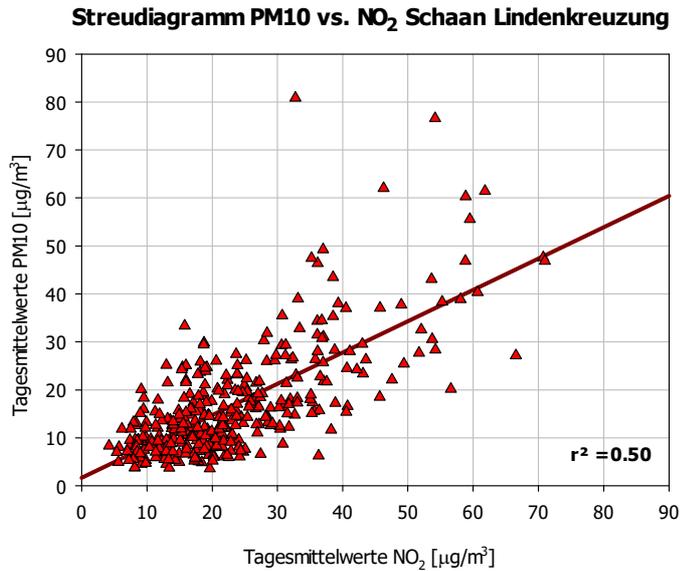
In Abbildung 17 ist der durchschnittliche Wochengang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek dargestellt. Die höchsten Belastungen werden an beiden Standorten mittwochs gemessen. Wie auch bei der PM<sub>10</sub>-Konzentration werden am Sonntag die eindeutig geringsten Belastungen registriert. In Schaan liegt die durchschnittliche NO<sub>2</sub>-Konzentration an Sonntagen um 10 µg/m<sup>3</sup> unter der durchschnittlichen Belastung des Mittwochs. In Vaduz beträgt diese Differenz 8 µg/m<sup>3</sup>. samstags und sonntags werden, aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens sowie weniger Aktivitäten im Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungssektor, deutlich tiefere Konzentrationen gemessen.



**Abbildung 17** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2016 bis Dezember 2017) am Standort Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

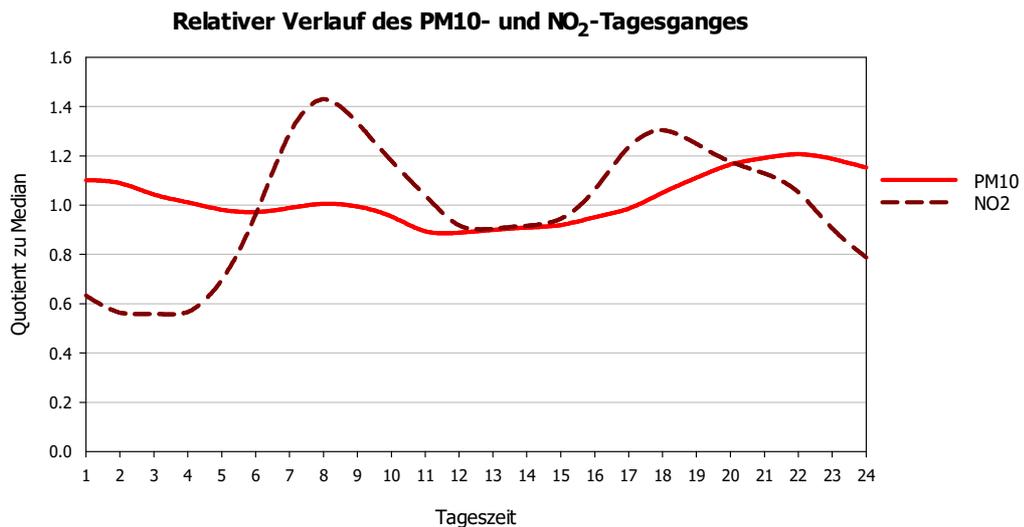
## 10. ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN FÜR PM<sub>10</sub> UND NO<sub>x</sub>

Wie eingangs des Berichtes erwähnt, werden seit 2011 parallel zu den Feinstaubmessungen in der Kleinmessstation auch kontinuierliche Stickoxid-Messungen durchgeführt. Im Falle einer Korrelation der beiden Schadstoffe, wäre es möglich, aus der Feinstaubbelastung die NO<sub>2</sub>-Belastung oder aus der NO<sub>2</sub>-Belastung die Feinstaubkonzentration abzuleiten. Damit könnte auf die Messung eines der beiden Parameter verzichtet und entsprechend Kosten eingespart werden. Dies ist, wie aus der Abbildung 18 hervorgeht, nicht möglich. Aufgrund der geringen Korrelation der Schadstoffkonzentrationen, ist es nicht möglich mit genügender Genauigkeit die Konzentration des jeweiligen Schadstoffes abzuleiten.



**Abbildung 18** Streudiagramm der NO<sub>2</sub>- und PM10 Tagesmittelwerte Schaan Lindenkreuzung (Dezember 2016 bis Dezember 2017)

In Abbildung 19 ist ersichtlich, dass der Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich mit der PM10-Belastung deutlich grösseren Schwankungen unterliegt. Dies bedeutet, dass der vom Menschen verursachte lokale Anteil der PM10-Belastung am Standort Schaan deutlich niedriger ist als der Anteil an der NO<sub>2</sub>-Belastung. Während die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im angeführten Beispiel zwischen dem Faktor 0.6 bis 1.4 schwanken, ist beim PM10 eine engere Spannbreite (0.9 bis 1.2) gegeben.



**Abbildung 19** Quotient aus dem Median<sup>5</sup> der durchschnittlichen Stundenwerte der Feinstaub- und NO<sub>2</sub>-Konzentration an Werktagen (Messwerte Dezember 2016 bis Dezember 2017). Lesebeispiel: Um 8:00 Uhr sind die NO<sub>2</sub>-Belastungen im Durchschnitt um den Faktor 1.43 höher als der Median aller durchschnittlichen Stundenwerte. Der Wert 1 bedeutet, dass die Belastung in dieser Stunde dem Median entspricht.

<sup>5</sup> Der Median oder auch Zentralwert genannt, ist eine statistische Grösse. Der Median wird erhalten, wenn eine Zahlenreihe der Grösse nach sortiert wird. Der Median befindet sich danach an der mittleren Stelle der Zahlenreihe.

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
14.12.2016	33	52
15.12.2016	38	55
16.12.2016	37	46
17.12.2016	37	40
18.12.2016	34	36
19.12.2016	28	41
20.12.2016	23	43
21.12.2016	35	39
22.12.2016	28	39
23.12.2016	30	43
24.12.2016	31	37
25.12.2016	16	27
26.12.2016	11	19
27.12.2016	14	24
28.12.2016	17	35
29.12.2016	26	37
30.12.2016	38	39
31.12.2016	46	36
01.01.2017	81	33
02.01.2017	47	35
03.01.2017	22	37
04.01.2017	13	27
05.01.2017	6	14
06.01.2017	16	31
07.01.2017	22	48
08.01.2017	38	49
09.01.2017	28	54
10.01.2017	20	57
11.01.2017	26	44
12.01.2017	17	41
13.01.2017	6	19
14.01.2017	7	23
15.01.2017	12	30
16.01.2017	12	32
17.01.2017	18	32
18.01.2017	31	54
19.01.2017	40	61
20.01.2017	61	62
21.01.2017	60	59
22.01.2017	47	59
23.01.2017	48	71
24.01.2017	56	60
25.01.2017	62	46
26.01.2017	77	54
27.01.2017	30	28

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
28.01.2017	47	71
29.01.2017	39	58
30.01.2017	27	67
31.01.2017	12	30
01.02.2017	9	31
02.02.2017	6	20
03.02.2017	12	38
04.02.2017	13	27
05.02.2017	8	20
06.02.2017	16	36
07.02.2017	16	36
08.02.2017	31	36
09.02.2017	35	31
10.02.2017	43	39
11.02.2017	33	33
12.02.2017	29	31
13.02.2017	39	33
14.02.2017	49	37
15.02.2017	43	54
16.02.2017	28	52
17.02.2017	18	46
18.02.2017	18	35
19.02.2017	11	27
20.02.2017	17	39
21.02.2017	13	29
22.02.2017	14	28
23.02.2017	12	21
24.02.2017	10	21
25.02.2017	12	22
26.02.2017	18	33
27.02.2017	18	26
28.02.2017	8	18
01.03.2017	5	15
02.03.2017	7	25
03.03.2017	11	19
04.03.2017	5	6
05.03.2017	5	10
06.03.2017	6	24
07.03.2017	6	22
08.03.2017	10	23
09.03.2017	8	25
10.03.2017	10	24
11.03.2017	9	20
12.03.2017	13	25
13.03.2017	21	31

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
14.03.2017	26	36
15.03.2017	29	31
16.03.2017	34	37
17.03.2017	16	18
18.03.2017	19	22
19.03.2017	6	12
20.03.2017	10	21
21.03.2017	16	29
22.03.2017	14	28
23.03.2017	11	21
24.03.2017	20	24
25.03.2017	24	18
26.03.2017	26	18
27.03.2017	26	28
28.03.2017	23	33
29.03.2017	26	32
30.03.2017	27	32
31.03.2017	21	27
01.04.2017	19	19
02.04.2017	15	11
03.04.2017	26	21
04.04.2017	20	25
05.04.2017	21	25
06.04.2017	30	19
07.04.2017	26	30
08.04.2017	22	22
09.04.2017	15	17
10.04.2017	12	17
11.04.2017	29	19
12.04.2017	27	30
13.04.2017	19	28
14.04.2017	19	17
15.04.2017	14	14
16.04.2017	8	9
17.04.2017	5	9
18.04.2017	6	23
19.04.2017	9	18
20.04.2017	12	19
21.04.2017	17	27
22.04.2017	14	15
23.04.2017	13	8
24.04.2017	16	23
25.04.2017	10	17
26.04.2017	6	20
27.04.2017	6	22

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
28.04.2017	6	36
29.04.2017	12	17
30.04.2017	9	10
01.05.2017	8	11
02.05.2017	7	18
03.05.2017	9	15
04.05.2017	8	24
05.05.2017	8	21
06.05.2017	9	13
07.05.2017	6	12
08.05.2017	7	24
09.05.2017	8	16
10.05.2017	12	21
11.05.2017	9	11
12.05.2017	8	21
13.05.2017	7	12
14.05.2017	7	10
15.05.2017	7	18
16.05.2017	11	21
17.05.2017	14	22
18.05.2017	18	20
19.05.2017	14	17
20.05.2017	6	13
21.05.2017	9	11
22.05.2017	12	22
23.05.2017	14	25
24.05.2017	27	24
25.05.2017	13	8
26.05.2017	11	14
27.05.2017	12	14
28.05.2017	12	12
29.05.2017	17	17
30.05.2017	24	19
31.05.2017	22	16
01.06.2017	16	18
02.06.2017	11	16
03.06.2017	9	9
04.06.2017	8	7
05.06.2017	10	10
06.06.2017	9	19
07.06.2017	6	14
08.06.2017	11	18
09.06.2017	12	19
10.06.2017	10	11
11.06.2017	9	11

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
12.06.2017	20	25
13.06.2017	16	17
14.06.2017	26	25
15.06.2017	21	13
16.06.2017	14	13
17.06.2017	13	8
18.06.2017	10	8
19.06.2017	15	19
20.06.2017	21	22
21.06.2017	23	24
22.06.2017	25	19
23.06.2017	23	18
24.06.2017	33	16
25.06.2017	25	13
26.06.2017	10	12
27.06.2017	10	14
28.06.2017	11	16
29.06.2017	6	17
30.06.2017	5	13
01.07.2017	6	9
02.07.2017	6	8
03.07.2017	7	13
04.07.2017	10	15
05.07.2017	15	17
06.07.2017	16	15
07.07.2017	19	19
08.07.2017	20	9
09.07.2017	16	9
10.07.2017	16	17
11.07.2017	11	16
12.07.2017	9	12
13.07.2017	8	10
14.07.2017	11	20
15.07.2017	10	9
16.07.2017	9	7
17.07.2017	11	15
18.07.2017	13	16
19.07.2017	14	16
20.07.2017	22	16
21.07.2017	13	14
22.07.2017	12	8
23.07.2017	12	6
24.07.2017	10	13
25.07.2017	5	14
26.07.2017	5	18

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
27.07.2017	8	12
28.07.2017	8	13
29.07.2017	10	9
30.07.2017	8	4
31.07.2017	12	14
01.08.2017	18	10
02.08.2017	25	15
03.08.2017	25	16
04.08.2017	24	15
05.08.2017	13	10
06.08.2017	9	8
07.08.2017	8	12
08.08.2017	14	21
09.08.2017	7	13
10.08.2017	7	15
11.08.2017	5	18
12.08.2017	6	11
13.08.2017	8	8
14.08.2017	12	15
15.08.2017	12	10
16.08.2017	14	15
17.08.2017	18	16
18.08.2017	19	18
19.08.2017	8	8
20.08.2017	7	7
21.08.2017	10	17
22.08.2017	13	16
23.08.2017	15	19
24.08.2017	15	16
25.08.2017	12	21
26.08.2017	18	12
27.08.2017	15	9
28.08.2017	21	19
29.08.2017	23	22
30.08.2017	25	19
31.08.2017	20	21
01.09.2017	4	20
02.09.2017	4	13
03.09.2017	5	10
04.09.2017	9	18
05.09.2017	8	19
06.09.2017	10	17
07.09.2017	10	17
08.09.2017	14	12
09.09.2017	15	15

# ANHANG I

## PM10- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
10.09.2017	4	8
11.09.2017	7	16
12.09.2017	---	19
13.09.2017	---	19
14.09.2017	---	15
15.09.2017	5	17
16.09.2017	7	11
17.09.2017	7	8
18.09.2017	6	18
19.09.2017	8	21
20.09.2017	8	22
21.09.2017	10	23
22.09.2017	16	27
23.09.2017	17	19
24.09.2017	13	11
25.09.2017	16	24
26.09.2017	17	24
27.09.2017	17	22
28.09.2017	15	23
29.09.2017	18	26
30.09.2017	15	12
01.10.2017	6	8
02.10.2017	10	21
03.10.2017	8	21
04.10.2017	11	21
05.10.2017	10	19
06.10.2017	8	19
07.10.2017	7	14
08.10.2017	9	12
09.10.2017	11	20
10.10.2017	12	21
11.10.2017	17	26
12.10.2017	19	25

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
13.10.2017	22	25
14.10.2017	20	21
15.10.2017	17	18
16.10.2017	18	26
17.10.2017	23	33
18.10.2017	31	37
19.10.2017	22	27
20.10.2017	28	36
21.10.2017	23	24
22.10.2017	8	6
23.10.2017	7	27
24.10.2017	11	23
25.10.2017	9	22
26.10.2017	17	32
27.10.2017	14	23
28.10.2017	10	17
29.10.2017	7	5
30.10.2017	10	20
31.10.2017	16	30
01.11.2017	16	23
02.11.2017	22	38
03.11.2017	18	27
04.11.2017	19	27
05.11.2017	13	14
06.11.2017	8	16
07.11.2017	13	22
08.11.2017	14	24
09.11.2017	20	24
10.11.2017	16	26
11.11.2017	9	14
12.11.2017	4	8
13.11.2017	5	20
14.11.2017	13	29

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
15.11.2017	19	35
16.11.2017	27	31
17.11.2017	32	28
18.11.2017	25	24
19.11.2017	15	19
20.11.2017	15	33
21.11.2017	13	24
22.11.2017	13	29
23.11.2017	18	31
24.11.2017	17	33
25.11.2017	13	14
26.11.2017	5	13
27.11.2017	9	23
28.11.2017	15	41
29.11.2017	23	37
30.11.2017	15	32
01.12.2017	14	28
02.12.2017	14	22
03.12.2017	14	20
04.12.2017	15	35
05.12.2017	24	42
06.12.2017	24	41
07.12.2017	25	49
08.12.2017	12	18
09.12.2017	6	17
10.12.2017	5	7
11.12.2017	7	9

grau hinterlegt = Überschreitung des Immissionsgrenzwertes

--- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert

## ANHANG II



Aus Geodatenportal Ilv.li