

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# **FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN**

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2018 AM STANDORT NENDELN  
ENGELKREUZUNG

SCHAAN, FEBRUAR 2020 / JÜRGEN BECKBISSINGER, NADJA JAEGGI

8157\_Bericht Nendeln 2018\_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	15

## Anhänge:

I	TAGESMITTELWERTE.....	21
II	ÜBERSICHTSKARTE .....	24

## IMPRESSUM:

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

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Seit 2005 misst das Amt für Umwelt zusätzlich zur festen Messstation bei der Landesbibliothek Vaduz an verschiedenen Standorten kontinuierlich Feinstaub (PM10) mit einer mobilen Messstation. 2011 kam eine Stickstoffdioxidmessung (NO<sub>2</sub>) dazu. Im Zeitraum vom 13. Dezember 2017 bis zum 12. Dezember 2018 wurden in Nendeln an der Engelkreuzung kontinuierlich PM10- und NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen durchgeführt.

Der PM10- Jahresmittelwert am Standort Nendeln Engelkreuzung lag mit 15 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 24 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 365 Tage dauernden Messkampagne zweimal überschritten, der sogenannte Kurzzeitgrenzwert wurde somit nicht eingehalten. Der höchste Tagesmittelwert mit 73 µg/m<sup>3</sup> wurde am 2. März 2018 gemessen.

Beim NO<sub>2</sub> wurde der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup> mit einem maximalen Tagesmittel von 58 µg/m<sup>3</sup>, gemessen am 19. Dezember 2017, eingehalten.

Das 0.9-Quantil (die 10 % obersten Messwerte) der PM10-Tagesmittelwerte lag in Nendeln über 28 µg/m<sup>3</sup>, in Vaduz betrug es 25 µg/m<sup>3</sup>. Der Median der PM10-Tagesmittelwerte lagen in Nendeln und in Vaduz bei 13 µg/m<sup>3</sup>.

Das 0.9-Quantil der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte lag in Nendeln bei 38 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz bei 30 µg/m<sup>3</sup>. Die Mediane bei 23 µg/m<sup>3</sup> in Nendeln und 13 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz.

Die Auswertung zeigt deutlichen anthropogenen Einfluss auf die gemessenen Immissionskonzentrationen. So wurden die Tagesgrenzwerte an austauscharmen und verkehrsreichen Werktagen überschritten. Der Zusammenhang mit tatsächlicher Verkehrsbelastung und ein möglicher Trend über die letzten Jahre wurde hier 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 das es in der Luftreinhalteverordnung (LRV) Immissionsgrenzwerte gibt. 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 2017 an der Lindenkreuzung in Schaan wurden vom 13. Dezember 2017 bis zum 12. Dezember 2018 in Nendeln an der Engelkreuzung kontinuierliche Immissionsmessungen mit der mobilen Messstation vorgenommen. Der Abstand der Messstation zum Fahrbahnrand betrug ca. 3 m (vgl. Kartenausschnitt 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.

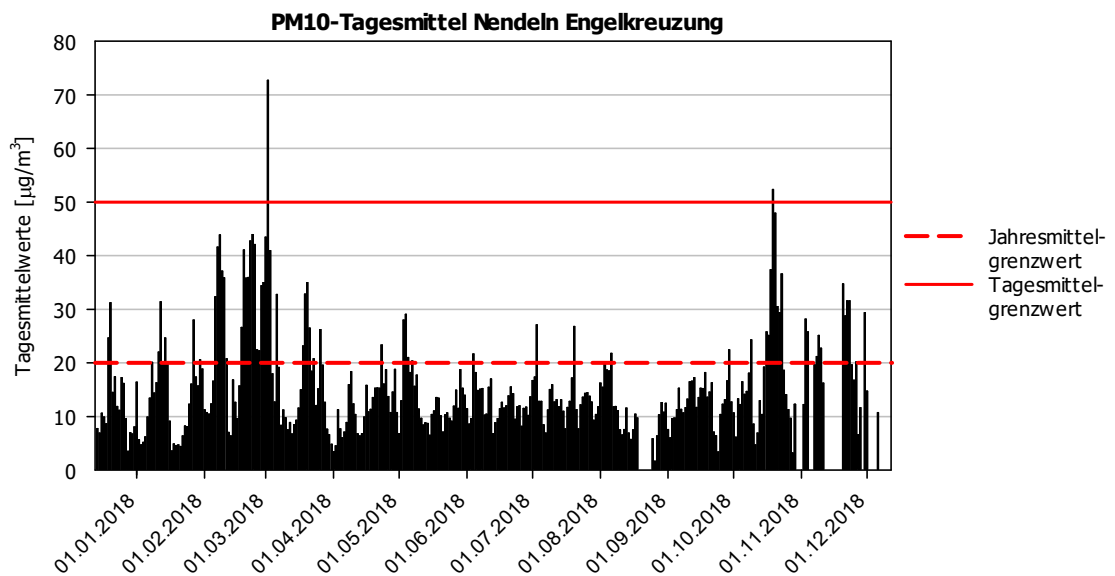
Die Anforderungen gemäss der Empfehlung „Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen“ des BAFU vom Januar 2004 bezüglich Anzahl gültiger Messwerte (90% der Halbstundenmittelwerte) sowie kein Ausfall von mehr als 10 aufeinanderfolgenden Tagen wurden eingehalten.

## 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  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zweimal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 2. März 2018 mit  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Tagesmittel über dem Jahresmittelgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden am Standort Nendeln Engelkreuzung an 67 Tagen gemessen. Die mittlere Konzentration im Zeitraum vom 13. Dezember 2017 bis zum 12. Dezember 2018 lag mit  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unter dem Langzeit-Immissionsgrenzwert (Jahresmittel) von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Am Standort Vaduz Landesbibliothek wurde in diesem Zeitraum eine mittlere PM10-Konzentration von  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen.

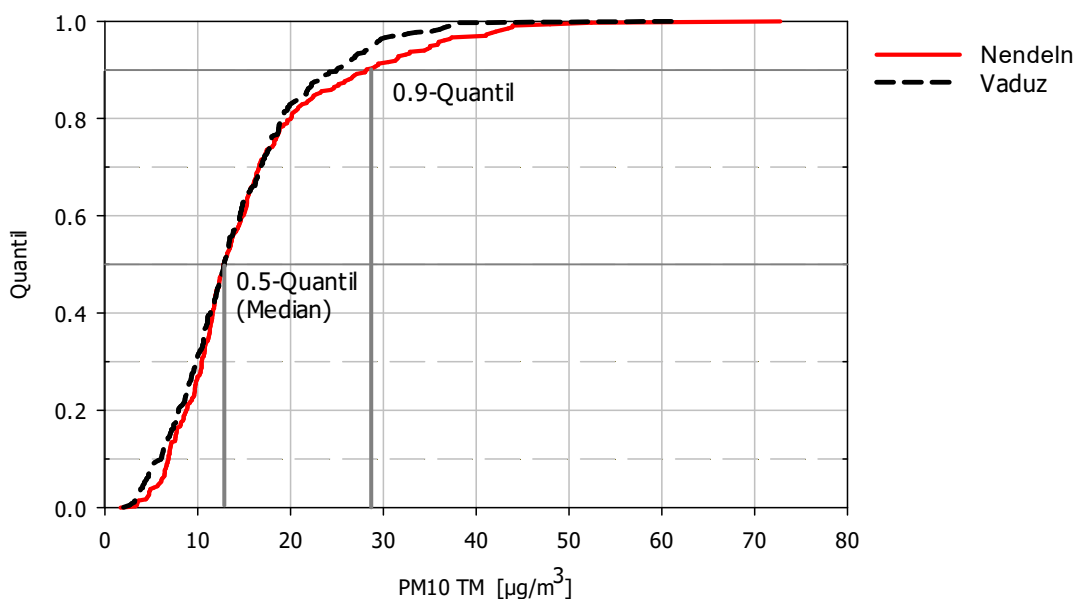


**Abbildung 1** Tagesmittelwerte 2018 am Standort Nendeln Engelkreuzung

Wie aus dem Quantilplot (Abbildung 2) hervorgeht, waren die Konzentrationen am Standort Nendeln bei den dargestellten Quantilen höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek. Das 0.9-Quantil betrug in Nendeln  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10 % der Tagesmittelwerte über  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lagen. In Vaduz lag das 0.9-Quantil bei  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Median (0.5-Quantil) beträgt bei beiden Standorten  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

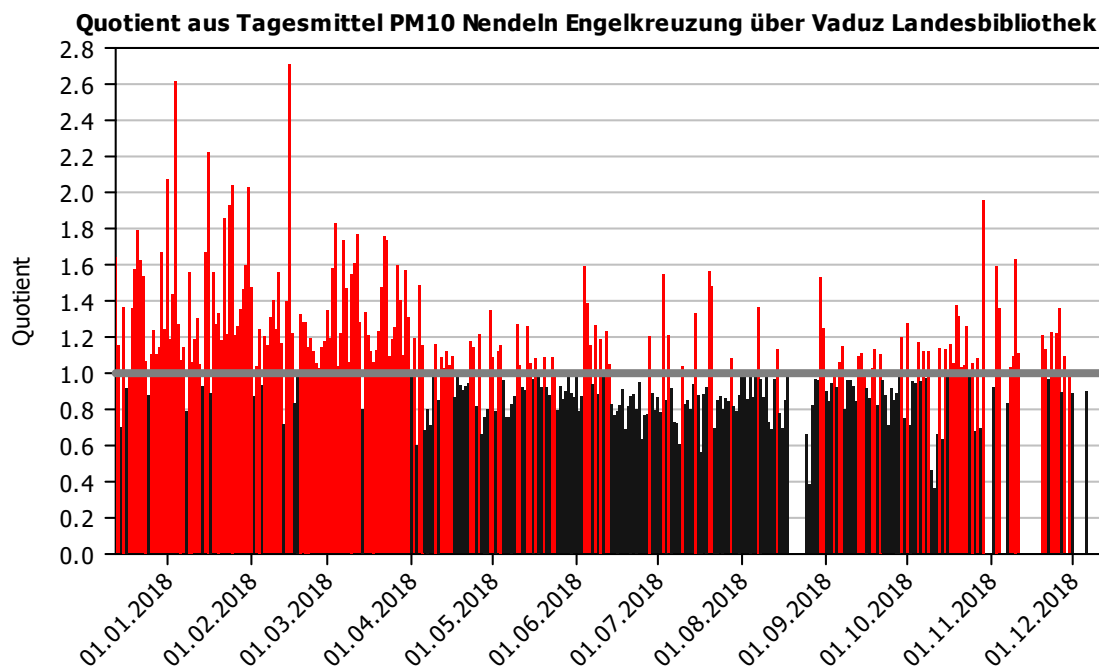


**Quantilplot TM-PM10 Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek**



**Abbildung 2** Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte 2018 an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

An 155 Tagen der 336 Tage an denen Tagesmittelwerte beider Stationen vorliegen, wurden in Vaduz höhere Tagesmittel als am Standort Nendeln Engelkreuzung registriert (siehe Abbildung 3). 120 dieser 155 Tage lagen im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober). Somit wurden im Winterhalbjahr in Vaduz an nur 35 Tagen höhere Immissionsbelastungen registriert als am Standort Nendeln Engelkreuzung. Im Durchschnitt waren die PM10-Belastungen bei Konzentrationen im Bereich des Jahresmittelgrenzwertes von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Nendeln Engelkreuzung um 7 % höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek.

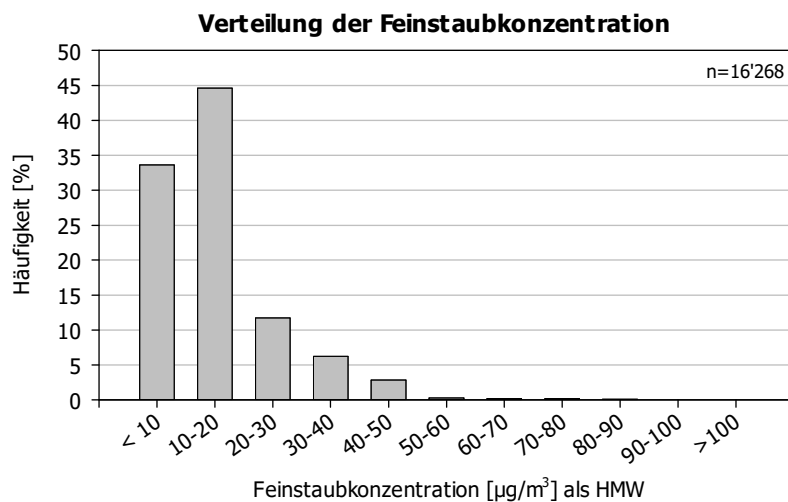


**Abbildung 3** Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Nendeln Engelkreuzung über Vaduz Landesbibliothek vom Dezember 2017 bis Dezember 2018. Rote Balken → Belastung am Standort Nendeln ist höher als in Vaduz; schwarze Balken → Die Belastung in Vaduz war höher als in Nendeln. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung am Standort Nendeln um den Faktor 2 höher als jene am Standort Vaduz

## 5.2. KURZZEITBELASTUNGEN

Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 22 % der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konzentrationen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden während lediglich 0.9 % der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 4).

Es gibt für kurzzeitige Feinstaubbelastungen (Halbstundenmittelwerte) keinen Grenzwert.



**Abbildung 4** Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) im Jahr 2018 am Standort Nendeln Engelkreuzung

### 5.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde mit einem Jahresmittelwert von  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei der Engelkreuzung in Nendeln eingehalten. Hingegen wurde mit zwei Tagesmittelwerten über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von maximal einer Überschreitung pro Jahr nicht eingehalten. In Tabelle 1 sind die Resultate in Bezug auf die jeweiligen Grenzwerte grafisch dargestellt.

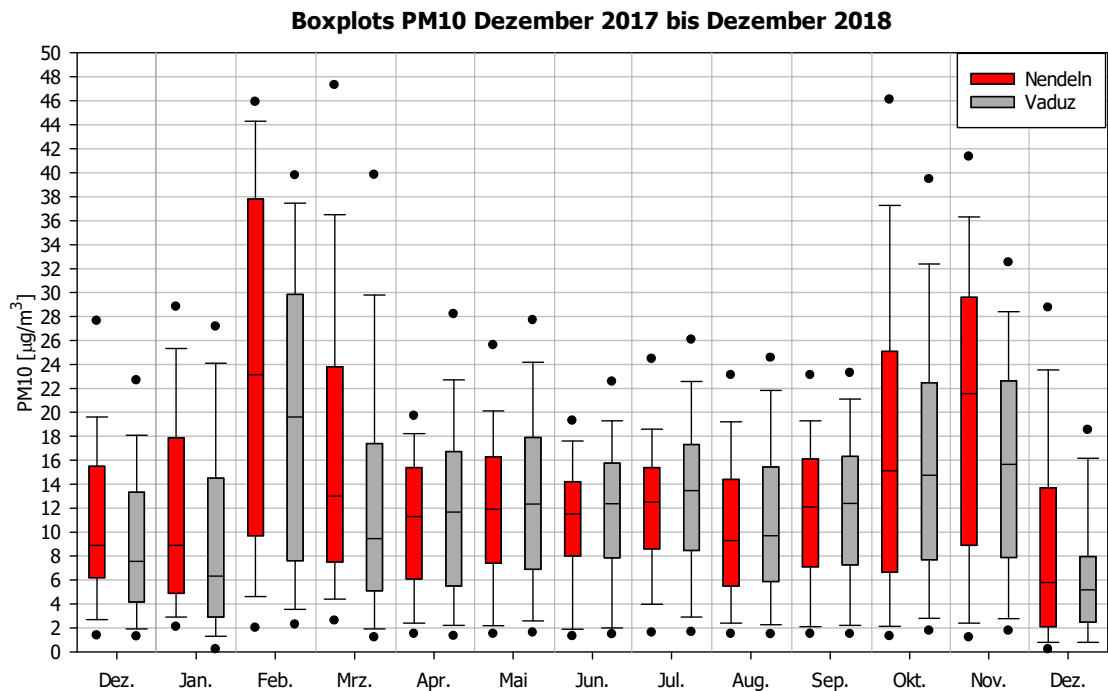
**Tabelle 1** Übersicht der relevanten PM10-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten

Standort	JMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Max. TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Anzahl Tage >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nendeln Engelkreuzung	15	73	2
Vaduz <sup>1)</sup>	14	61	1
Immissionsgrenzwert	20	-	1

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

### 5.4. JAHRESVERLAUF

In Abbildung 5 sind Boxplots der PM10-Halbstundenmittelwerte der jeweiligen Monate (Dezember 2017 bis Dezember 2018) ersichtlich. Die monatlichen Boxplots der Standorte Nendeln Engelkreuzung zeigen einen ähnlichen Verlauf wie diejenigen an der Ostluft-Messstation Vaduz Landesbibliothek. Von Dezember 2017 bis März 2018 sind die Mediane der PM10-Halbstundenmittelwerte höher als in Vaduz. Vom Frühling bis Frühherbst wurden hingegen an beiden Stationen jeweils vergleichbare Belastungen gemessen.



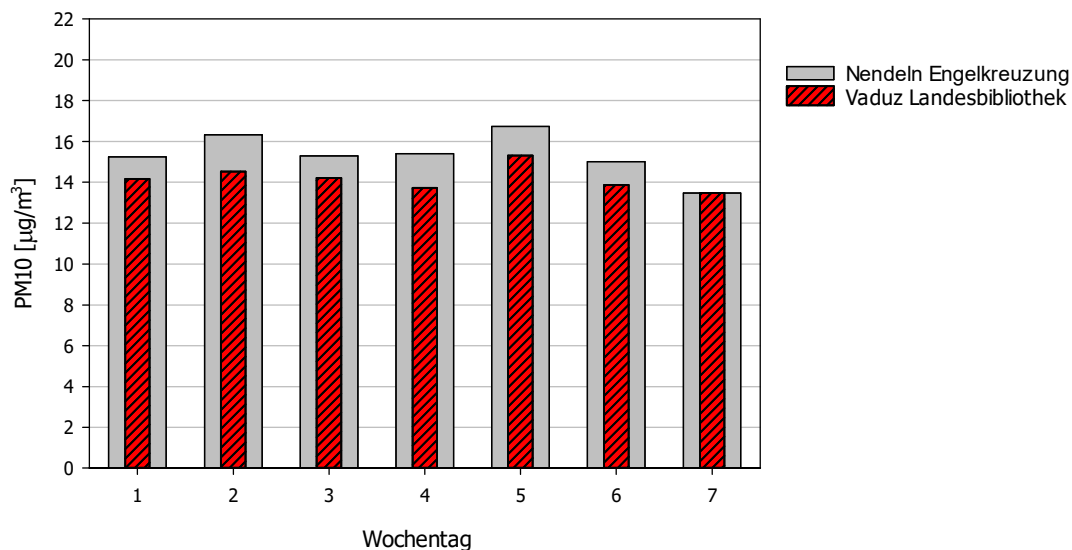
**Abbildung 5** Boxplots der PM10-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018. Von oben nach unten: 0.95- (Punkt), 0.90-, 0.75-, 0.50- (Median), 0.25-, 0.10- und 0.05-Quantil. Lesebeispiel: Das 0.90-Quantil des Monats Januar am Standort Vaduz liegt bei  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , d.h. 90 % der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.5. WOCHEGANG

Der Wochengang am Standort Nendeln Engelkreuzung ist dem des Standorts Vaduz Landesbibliothek ähnlich, liegt jedoch, mit Ausnahme des Sonntags, auf einem höheren Niveau (siehe Abbildung 6). Im Mittel wurden an Freitagen die höchsten und an Sonntagen die niedrigsten Feinstaubkonzentrationen gemessen. An Sonntagen war die Belastung an beiden Standorten nahezu identisch. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass am Messstandort der Schwerverkehr werktags und am Samstag einen relevanten Beitrag zur PM10-Belastung leistet.

Die Freitage waren am Standort Nendeln Engelkreuzung um 24 % stärker belastet als die durchschnittlichen Sonntage. Am Standort Vaduz liegt dieser Wert bei 14 %. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass am Standort Nendeln anthropogene Emissionen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten. Die absolute Differenz der durchschnittlichen Belastung donnerstags und sonntags liegt am Standort Nendeln mit  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  leicht über der Differenz von  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , welche am Standort Vaduz registriert wurde. An den anderen Wochentagen war die Belastung am Standort Nendeln auf einem ähnlichen Niveau. Dasselbe kann auch bei der Landesbibliothek Vaduz beobachtet werden.

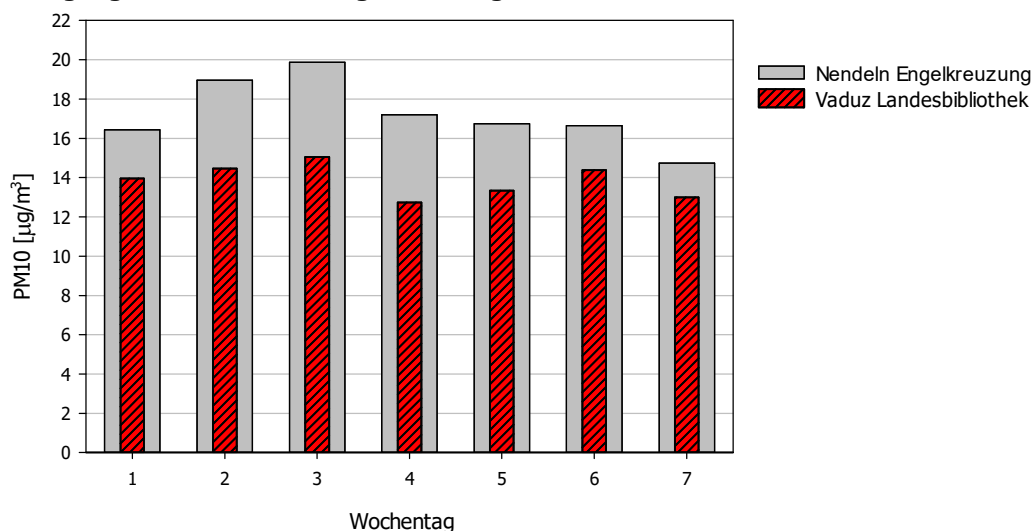
### Wochengang Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek



**Abbildung 6** Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen ( $\bar{\emptyset}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018) am Standort Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

In Abbildung 7 ist der Wochengang beider Messstandorte im Winter dargestellt. Die Konzentrationen beim Messstandort in Nendeln sind in den Wintermonaten im Mittel höher als die Belastungen des gesamten Messzeitraums (siehe auch Abbildung 6). Am Standort Vaduz Landesbibliothek hingegen wurden im Mittel im Winter geringfügig niedrigere Feinstaubbelastungen gemessen. Gründe für diesen Unterschied zwischen den beiden Messstandorten sind unklar und müssten gegebenenfalls im Rahmen von weitergehenden Untersuchungen abgeklärt werden.

### Wochengang Winter Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek



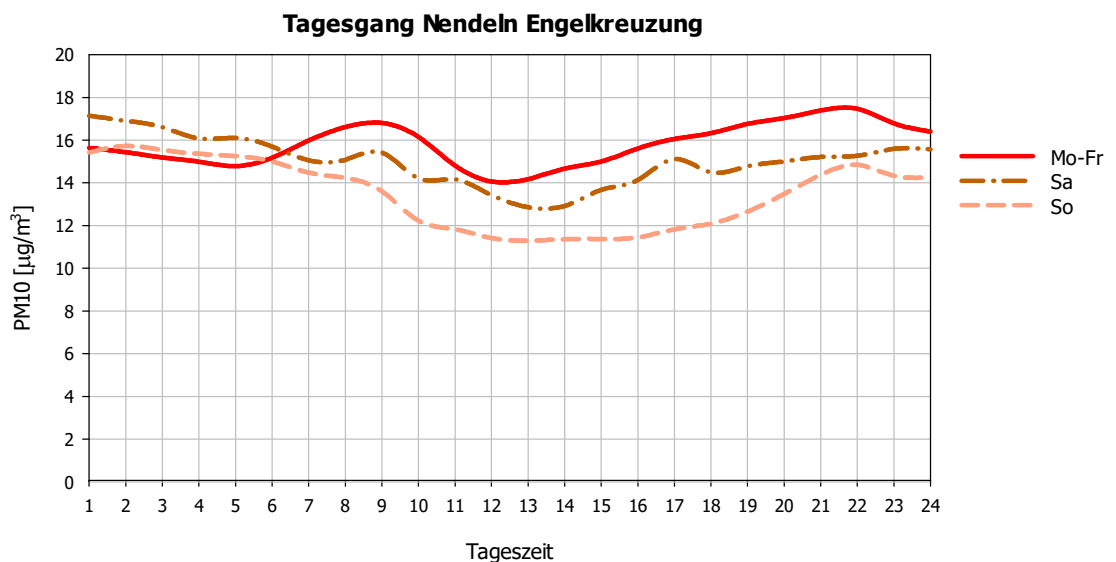
**Abbildung 7** Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen ( $\bar{\emptyset}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2017 bis und mit Februar 2018) am Standort Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

## 5.6. TAGESGANG

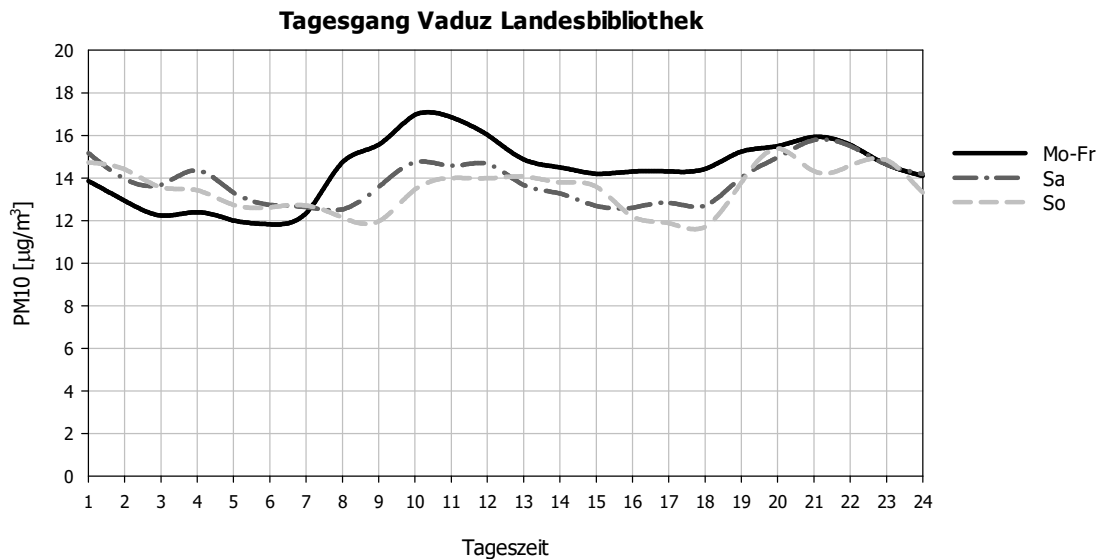
Wie aus der Abbildung 8 hervorgeht, schwankten die PM10-Konzentrationen an Werktagen im Mittel in einem Bereich zwischen  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in der Mittagszeit und  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den späten Abendstunden. Der erste Konzentrationsanstieg findet jeweils um ca. 06:00 Uhr statt und erreicht das Maximum um 09:00 Uhr. Nach Erreichen des Tagesminimums um 12:00 Uhr steigt die Feinstaubbelastung bis am Abend stetig an. Die festgestellten Spitzen am Morgen und am Abend sind für strassennahe Standorte typisch, ein Tagesminimum am Mittag jedoch nicht.

Der Samstag weist einen ähnlichen Verlauf wie an Werktagen auf, jedoch wird die erste «Abendspitze» bereits gegen 17:00 Uhr erreicht. Eine weitere Abweichung ist der Zeitpunkt der maximalen Tageskonzentration. Diese wurde an Samstagen im Mittel nachts um 01:00 Uhr erreicht.

An Sonntagen ist lediglich noch eine Spitze am Abend ersichtlich. Die Konzentrationen lagen auch auf einem niedrigeren Niveau als in den anderen Wochentagen (siehe auch Kapitel 5.5). Es wird angenommen, dass die Differenz zwischen den Belastungen an Sonn- und Werktagen zur Hauptsache durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch den Strassenverkehr sowie industrieller und gewerblicher Tätigkeiten, verursacht wurde. Zum Vergleich ist in Abbildung 9 der Tagesgang am Ostluft-Messstandort Vaduz Landesbibliothek angeführt.



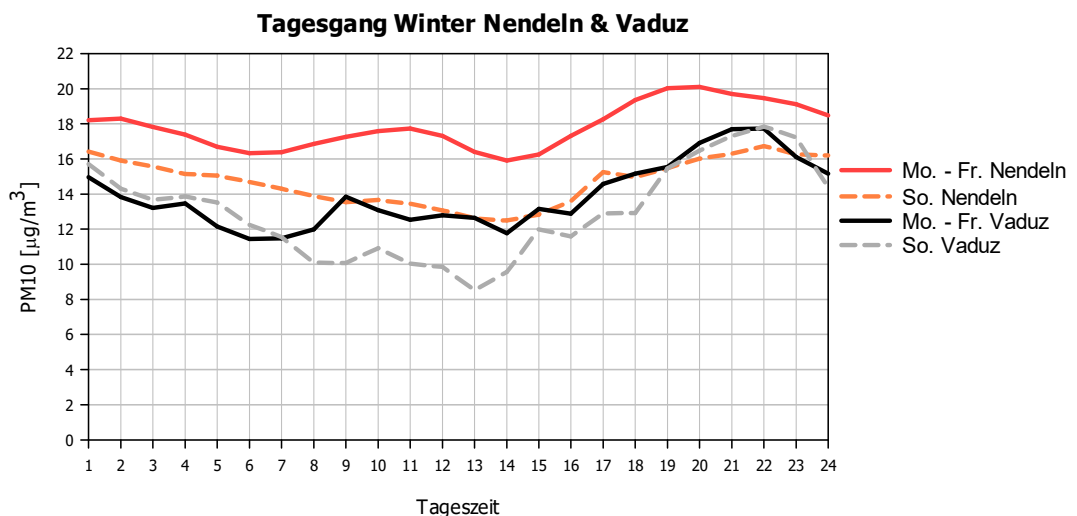
**Abbildung 8** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Nendeln Engelkreuzung ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)



**Abbildung 9** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

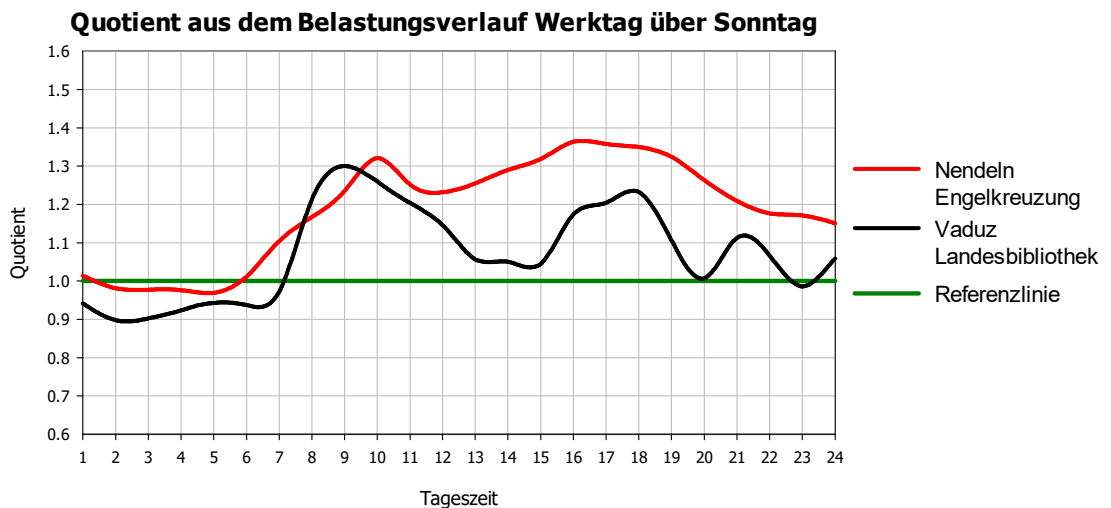
Werden die Tagesgänge im Winter verglichen, liegen diese in Nendeln an Werktagen sowie an Sonntagen auf einem höheren Niveau als in Vaduz (siehe Abbildung 10). Eine Ausnahme bilden die Abendstunden der Sonntage. Hier wurden im Mittel in Vaduz höhere Feinstaubkonzentrationen gemessen.

Die höchsten Konzentrationen wurden in den Abendstunden gemessen. Während in Vaduz die Spitzenkonzentrationen der Werktage und Sonntage ähnlich hoch sind, wurden in Nendeln werktags höhere Spitzenkonzentrationen registriert. Zudem ist beim Vergleich der Tagesgänge in Nendeln ein grösserer Belastungsunterschied zwischen Werk- und Sonntagen zu erkennen als in Vaduz. Auf diesen Unterschied in Bezug auf den gesamten Messzeitraum wird im Folgenden eingegangen.



**Abbildung 10** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2017 bis und mit Februar 2018 an Werktagen (Montag bis Freitag) und Sonntagen)

In Abbildung 11 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek aufgeführt. Die beiden Verläufe unterscheiden sich vor allem ab der Mittagszeit. Ab diesem Zeitpunkt wurden am Standort Nendeln an Werktagen im Vergleich zum Sonntag deutlich höhere Belastungen gemessen als es am Standort Vaduz der Fall war. Der Quotient weist im Zeitraum zwischen 15:00 Uhr und 16:00 Uhr in Nendeln ein Maximum von 1.4 auf. In Vaduz liegt dieser Wert im selben Zeitraum bei ca. 1.2. Einzig zwischen ca. 8:00 Uhr und 09:00 Uhr wurden im Mittel am Standort Vaduz Landesbibliothek höhere Quotienten ermittelt als am Standort Nendeln. Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass bei steigendem Quotienten auch der anthropogene Anteil an der Gesamtbelastung am jeweiligen Standort steigt.



**Abbildung 11** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2017 bis Dezember 2018). Lesebeispiel: Am Standort Nendeln Engelkreuzung sind die mittleren PM10-Konzentrationen morgens um 10:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.3 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 auch 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. In Nendeln an der Engelkreuzung wurde mit einem Jahresmittelwert von  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der Immissionsgrenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingehalten. Auch der Kurzzeit-Grenzwert wurde mit einem maximalen Tagesmittelwert von  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen am 19. Dezember 2017, eingehalten. In Vaduz wurden die geltenden LRV-Grenzwerte für Stickstoffdioxid ebenso deutlich eingehalten. Die Jahresmitteldifferenz von  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zeigt, dass sich die Belastungssituation an beiden Standorten tendenziell unterscheidet. Der Messstandort bei der Landesbibliothek Vaduz liegt abseits der Strasse und ist wenig vom Verkehr beeinflusst. Der Standort in Nendeln liegt wiederum direkt bei der Engelkreuzung.

**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]
Nendeln Engelkreuzung	24	58	58	0
Vaduz <sup>1)</sup>	16	42	49	0
Immissionsgrenzwert	30	100	-	1

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

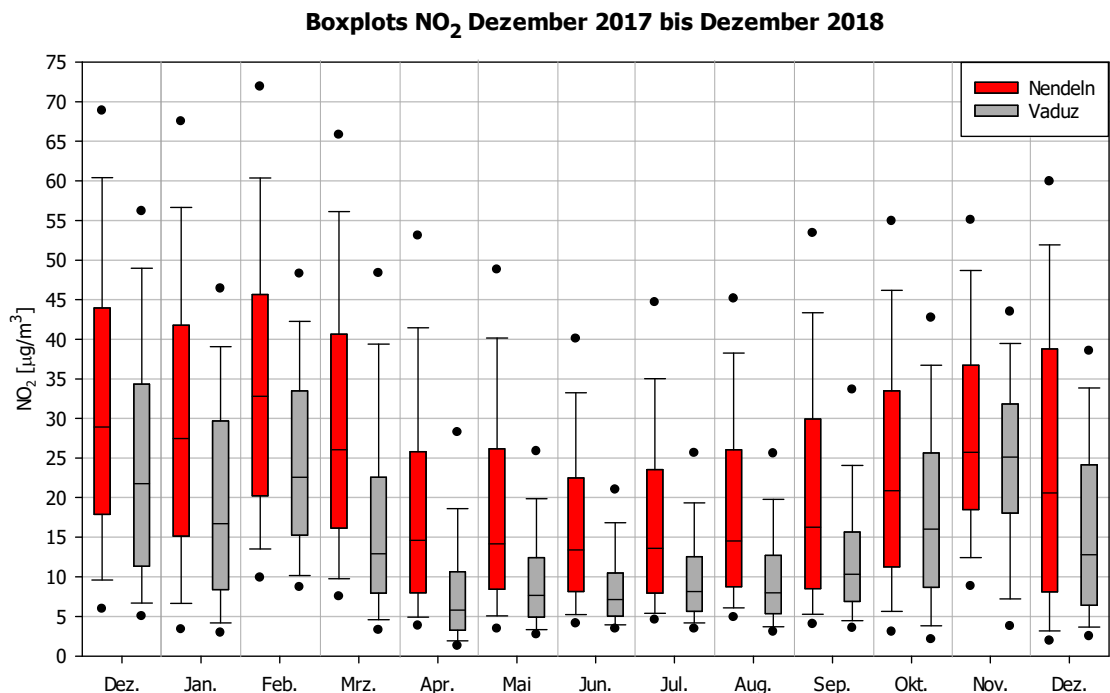
**Tabelle 3** Übersicht der relevanten  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_x$ -Messergebnisse

Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	$\text{NO}_x$ [ppb]	$\text{NO}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	$\text{NO}_x$ [ppb]	$\text{NO}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Nendeln Engelkreuzung	28	19	85	82
Vaduz <sup>1)</sup>	12	4	79	75

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

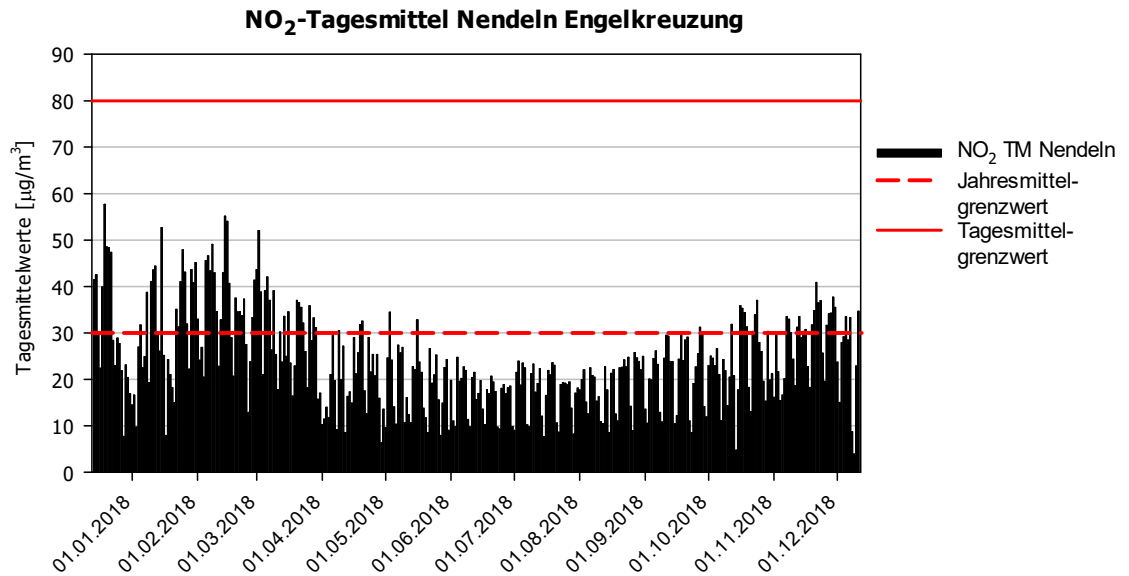
Der Vergleich der  $\text{NO}_2$ -Tagesmittelwerte sowie der monatlichen Boxplots der Halbstundenmittelwerte (siehe Abbildung 12) des Standortes Nendeln mit Vaduz zeigt klar, dass die Belastung in Nendeln während des Messzeitraums höher war als in Vaduz. An 336 Tagen wurden in Nendeln höhere Tagesmittelwerte registriert als in Vaduz. An einzelnen Tagen ist der Unterschied der Belastung sehr hoch. So wurde zum Beispiel am 15. Februar 2018 an der Engelkreuzung ein Tagesmittelwert von  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und bei der Landesbibliothek Vaduz hingegen ein Tagesmittel von lediglich  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen.

In Abbildung 12 wird zusätzlich der monatliche Verlauf der NO<sub>2</sub>-Messwerte an beiden Stationen dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass die Stickstoffdioxidbelastung in Nendeln in allen Monaten auf einem höheren Niveau liegt als in Vaduz.



**Abbildung 12** Boxplots der NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen (Halbstundenmittelwerte) an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018. 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 Januar am Standort Vaduz liegt bei 30 µg/m<sup>3</sup>, d.h. 75% der erfassten Halbstundenmittelwerte liegen unter 30 µg/m<sup>3</sup>.

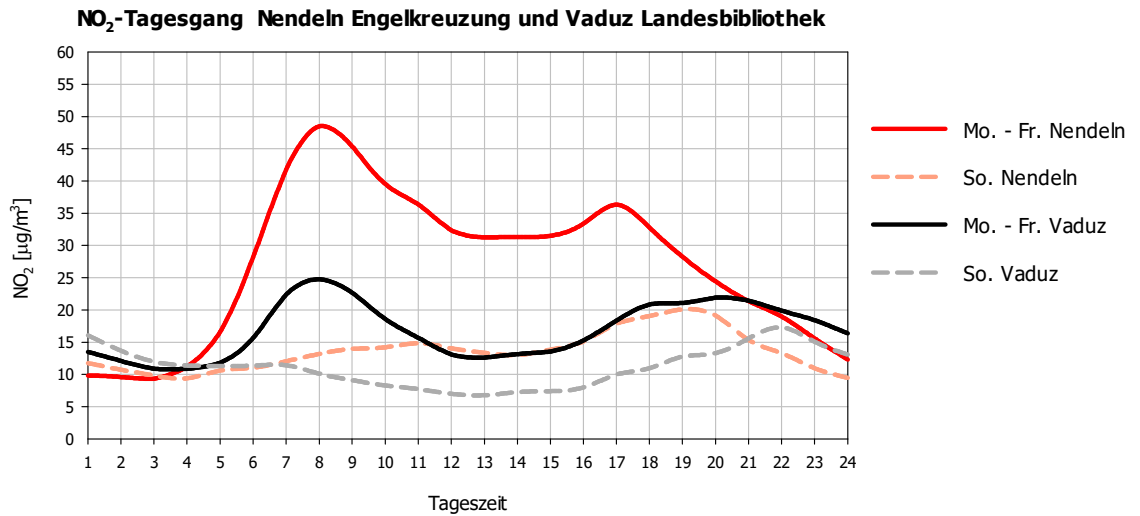
Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte des Messstandorts Nendeln kann der Abbildung 13 entnommen werden. Wie bereits erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 13** NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte 2018 am Standort Nendeln Engelkreuzung

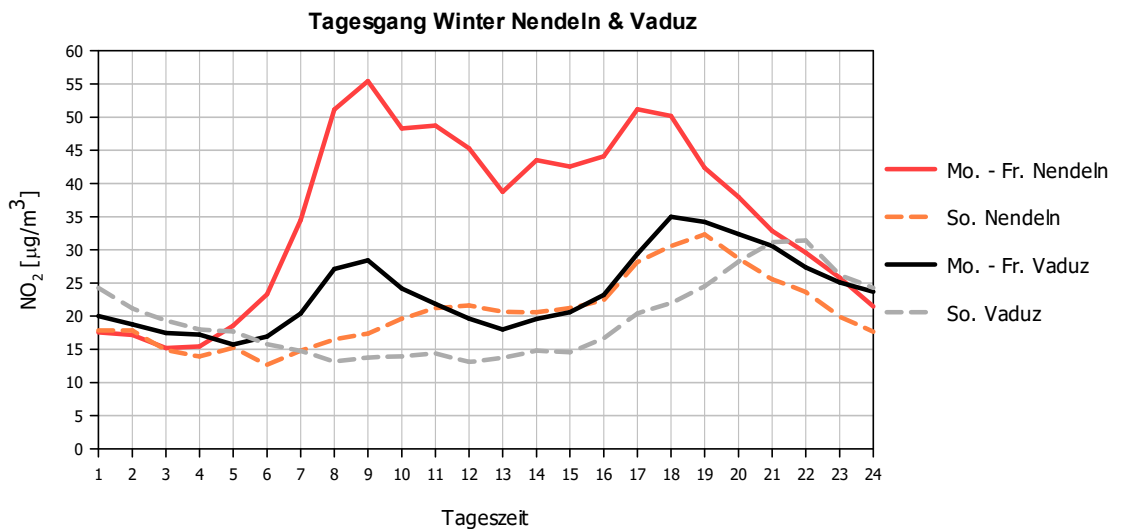
Der mittlere NO<sub>2</sub>-Tagesgang wies im Tagesverlauf deutliche Schwankungen auf (vgl. Abbildung 14). Die NO<sub>2</sub>-Belastung an den Werktagen zeigte an den Standorten Nendeln und Vaduz einen ähnlichen Verlauf, wenn auch auf einem unterschiedlich hohen Niveau. Die maximale Konzentration wurde an beiden Standorten im Mittel um 08:00 Uhr erreicht. Die NO<sub>2</sub>-Belastung stieg in Nendeln im Durchschnitt von 04:00 Uhr bis 08:00 Uhr mit einer Konzentrationserhöhung von 37 µg/m<sup>3</sup> deutlich an. Gegen Abend kann an beiden Messstandorten ein weiterer Belastungsanstieg beobachtet werden.

Am Sonntag sind die morgendlichen und abendlichen Anstiege insbesondere am Standort Nendeln deutlich weniger stark ausgeprägt. An diesem Tag herrscht allgemein weniger Strassenverkehr und insbesondere beinahe kein Schwerverkehr. Es gilt als gesichert, dass der Hauptanteil des werktäglichen Anstieges vom Strassenverkehr stammt.



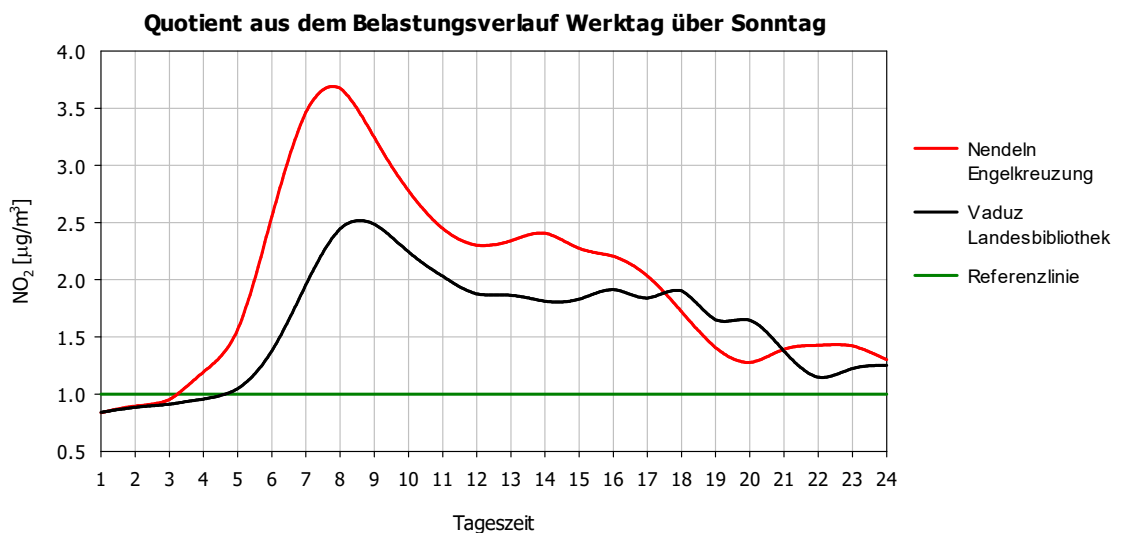
**Abbildung 14** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

In Abbildung 15 ist der NO<sub>2</sub>-Tagesgang während den Wintermonaten dargestellt. Die Konzentrationen im Tagesgang sind, ähnlich wie die Feinstaubbelastungen, am Standort Nendeln höher als im gesamten Messzeitraum. Dasselbe kann in Vaduz beobachtet werden. Wie im ganzjährigen Tagesgang (siehe Abbildung 14), werden auch in diesem Zeitraum werktags die Spitzenbelastungen am Morgen und am frühen Abend erreicht. Dies gilt für beide Messstandorte. An Sonntagen wurden im Mittel in den Abendstunden die höchsten Konzentrationen gemessen. Die Belastung ist auch im Winter an Sonntagen geringer als an Werktagen.



**Abbildung 15** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2017 bis und mit Februar 2018 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

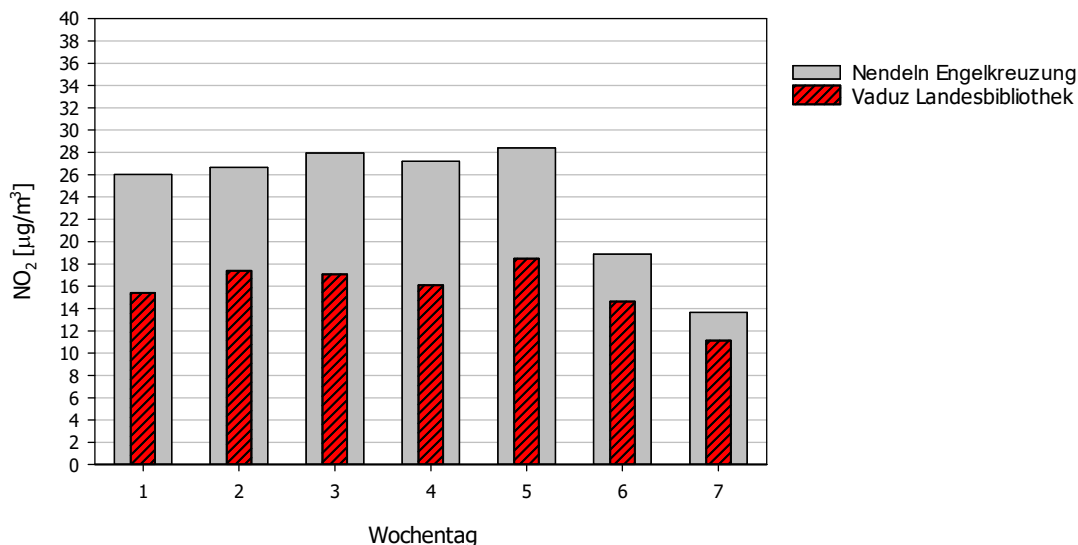
Der Unterschied zwischen den Stickstoffdioxidbelastungen an Werktagen und sonntags wird in Abbildung 16 dargestellt. Am Standort Nendeln Engelkreuzung ist die Belastung in den Morgenstunden werktags deutlich höher als am Wochenende. Bei der Landesbibliothek Vaduz sind die genannten Belastungsunterschiede nicht so stark. Am Standort Nendeln wurden beispielsweise Werktags in den Morgenstunden zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr um den Faktor 4 höhere Konzentrationen gemessen als an Sonntagen. Eine solche Belastungserhöhung ist als hoch einzustufen. Vereinfacht kann gesagt werden, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung am Standort Nendeln Engelkreuzung überaus dominant vom Strassenverkehr, insbesondere dem Schwerverkehr, beeinflusst wird. Um jedoch gesicherte Aussagen machen zu können, müssten die Daten von Verkehrszählungen im Detail ausgewertet werden.



**Abbildung 16** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2017 bis Dezember 2018). Lesebeispiel: Am Standort Nendeln Engelkreuzung sind die mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen morgens zwischen 06:00 Uhr und 07:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 3.5 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 Messstandorten in Nendeln und Vaduz dargestellt. Ähnlich dem PM<sub>10</sub>-Wochengang, fanden im Mittel die höchsten Belastungen an Freitagen und die niedrigsten an Sonntagen statt. Am Standort Nendeln Engelkreuzung war die durchschnittliche NO<sub>2</sub>-Konzentration an Freitagen doppelt so hoch wie an Sonntagen. Am Standort Vaduz Landesbibliothek war die Belastung am Freitag 1.7-mal 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.

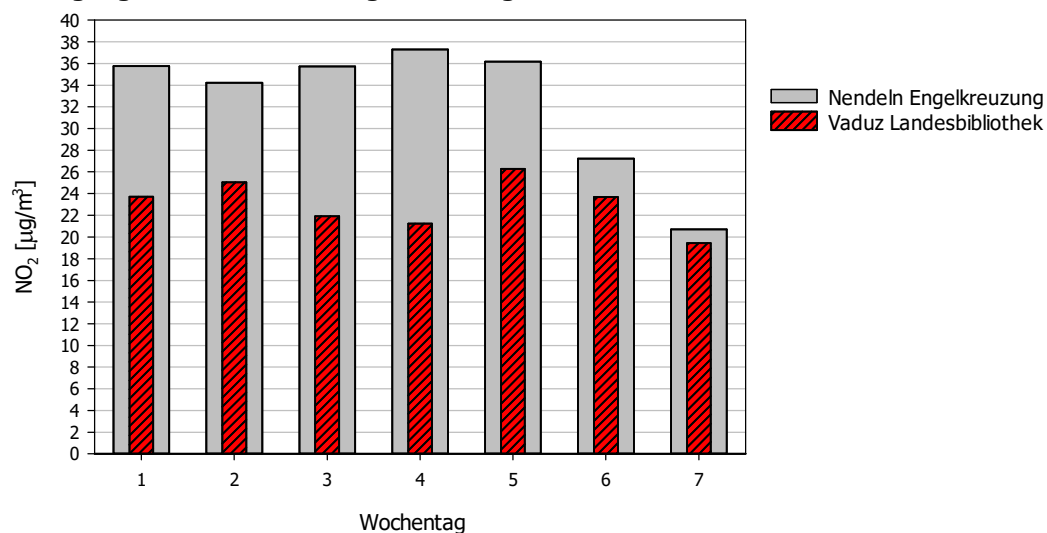
### Wochengang Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek



**Abbildung 17** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2017 bis Dezember 2018) am Standort Nendeln Engelkreuzung 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 höher sind (siehe Abbildung 18). Auch hier ist am Messstandort Nendeln ein deutlicher Belastungsunterschied zwischen Werktagen und Sonntagen ersichtlich.

### Wochengang Winter Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek



**Abbildung 18** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2017 bis und mit Februar 2018) am Standort Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Landesbibliothek

# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
13.12.2017	12	39
14.12.2017	8	42
15.12.2017	7	43
16.12.2017	11	30
17.12.2017	10	22
18.12.2017	9	40
19.12.2017	25	58
20.12.2017	31	49
21.12.2017	15	48
22.12.2017	17	47
23.12.2017	12	28
24.12.2017	11	23
25.12.2017	17	29
26.12.2017	16	28
27.12.2017	10	22
28.12.2017	4	8
29.12.2017	7	23
30.12.2017	7	20
31.12.2017	8	17
01.01.2018	16	15
02.01.2018	6	17
03.01.2018	5	10
04.01.2018	5	27
05.01.2018	6	32
06.01.2018	10	22
07.01.2018	13	25
08.01.2018	20	39
09.01.2018	14	19
10.01.2018	16	41
11.01.2018	22	44
12.01.2018	31	44
13.01.2018	20	30
14.01.2018	25	26
15.01.2018	20	53
16.01.2018	9	25
17.01.2018	4	8
18.01.2018	5	24
19.01.2018	5	21
20.01.2018	5	18
21.01.2018	4	15
22.01.2018	6	35
23.01.2018	8	31

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
24.01.2018	8	41
25.01.2018	12	48
26.01.2018	16	43
27.01.2018	28	32
28.01.2018	17	22
29.01.2018	16	44
30.01.2018	21	41
31.01.2018	19	45
01.02.2018	11	33
02.02.2018	11	24
03.02.2018	10	27
04.02.2018	12	21
05.02.2018	17	46
06.02.2018	32	47
07.02.2018	42	43
08.02.2018	44	49
09.02.2018	37	43
10.02.2018	36	35
11.02.2018	21	23
12.02.2018	7	33
13.02.2018	6	43
14.02.2018	17	55
15.02.2018	13	54
16.02.2018	10	41
17.02.2018	16	29
18.02.2018	27	21
19.02.2018	41	38
20.02.2018	36	35
21.02.2018	36	35
22.02.2018	43	34
23.02.2018	44	37
24.02.2018	42	28
25.02.2018	22	13
26.02.2018	22	24
27.02.2018	34	33
28.02.2018	35	41
01.03.2018	43	44
02.03.2018	73	52
03.03.2018	41	39
04.03.2018	18	21
05.03.2018	13	39
06.03.2018	33	42

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
07.03.2018	19	37
08.03.2018	8	26
09.03.2018	11	39
10.03.2018	10	25
11.03.2018	8	18
12.03.2018	9	30
13.03.2018	7	24
14.03.2018	8	34
15.03.2018	9	25
16.03.2018	12	35
17.03.2018	15	24
18.03.2018	23	16
19.03.2018	33	23
20.03.2018	35	37
21.03.2018	27	37
22.03.2018	18	36
23.03.2018	21	32
24.03.2018	12	26
25.03.2018	15	18
26.03.2018	26	36
27.03.2018	20	28
28.03.2018	13	33
29.03.2018	8	31
30.03.2018	7	16
31.03.2018	5	17
01.04.2018	3	10
02.04.2018	5	11
03.04.2018	11	14
04.04.2018	8	12
05.04.2018	6	21
06.04.2018	7	30
07.04.2018	9	20
08.04.2018	16	9
09.04.2018	18	31
10.04.2018	12	20
11.04.2018	10	27
12.04.2018	7	9
13.04.2018	6	16
14.04.2018	7	17
15.04.2018	10	15
16.04.2018	16	29
17.04.2018	11	21

# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
18.04.2018	11	26
19.04.2018	14	32
20.04.2018	15	33
21.04.2018	15	18
22.04.2018	15	13
23.04.2018	23	29
24.04.2018	16	22
25.04.2018	19	25
26.04.2018	14	21
27.04.2018	11	25
28.04.2018	15	16
29.04.2018	19	6
30.04.2018	11	14
01.05.2018	7	10
02.05.2018	13	25
03.05.2018	28	34
04.05.2018	29	24
05.05.2018	21	14
06.05.2018	18	10
07.05.2018	20	27
08.05.2018	16	26
09.05.2018	18	27
10.05.2018	11	11
11.05.2018	10	16
12.05.2018	8	12
13.05.2018	9	11
14.05.2018	9	23
15.05.2018	7	22
16.05.2018	10	33
17.05.2018	11	24
18.05.2018	14	22
19.05.2018	13	14
20.05.2018	10	12
21.05.2018	7	9
22.05.2018	10	27
23.05.2018	11	19
24.05.2018	10	21
25.05.2018	9	25
26.05.2018	12	16
27.05.2018	15	8
28.05.2018	12	15
29.05.2018	19	23

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
30.05.2018	15	24
31.05.2018	14	9
01.06.2018	11	20
02.06.2018	9	11
03.06.2018	10	10
04.06.2018	22	25
05.06.2018	18	20
06.06.2018	15	20
07.06.2018	15	23
08.06.2018	15	22
09.06.2018	10	11
10.06.2018	10	10
11.06.2018	16	20
12.06.2018	17	22
13.06.2018	7	16
14.06.2018	9	17
15.06.2018	10	20
16.06.2018	12	14
17.06.2018	13	10
18.06.2018	12	18
19.06.2018	12	17
20.06.2018	14	21
21.06.2018	16	19
22.06.2018	14	17
23.06.2018	10	10
24.06.2018	12	9
25.06.2018	12	18
26.06.2018	8	19
27.06.2018	12	17
28.06.2018	12	18
29.06.2018	10	19
30.06.2018	14	10
01.07.2018	17	9
02.07.2018	17	22
03.07.2018	27	24
04.07.2018	13	19
05.07.2018	13	23
06.07.2018	9	22
07.07.2018	7	10
08.07.2018	11	10
09.07.2018	15	21
10.07.2018	16	23

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
11.07.2018	13	17
12.07.2018	13	19
13.07.2018	12	22
14.07.2018	13	12
15.07.2018	11	8
16.07.2018	8	17
17.07.2018	12	22
18.07.2018	13	21
19.07.2018	17	24
20.07.2018	27	23
21.07.2018	11	11
22.07.2018	8	9
23.07.2018	12	19
24.07.2018	14	19
25.07.2018	14	19
26.07.2018	14	19
27.07.2018	14	19
28.07.2018	13	14
29.07.2018	9	8
30.07.2018	10	17
31.07.2018	12	18
01.08.2018	16	18
02.08.2018	15	20
03.08.2018	20	22
04.08.2018	19	15
05.08.2018	19	13
06.08.2018	22	22
07.08.2018	12	21
08.08.2018	12	21
09.08.2018	11	15
10.08.2018	8	16
11.08.2018	7	11
12.08.2018	8	10
13.08.2018	12	23
14.08.2018	7	18
15.08.2018	6	9
16.08.2018	8	21
17.08.2018	10	22
18.08.2018	10	13
19.08.2018	---	11
20.08.2018	---	23
21.08.2018	---	23



# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
22.08.2018	---	24
23.08.2018	---	23
24.08.2018	---	25
25.08.2018	6	14
26.08.2018	2	9
27.08.2018	6	26
28.08.2018	10	25
29.08.2018	13	24
30.08.2018	11	22
31.08.2018	12	25
01.09.2018	8	14
02.09.2018	6	11
03.09.2018	10	20
04.09.2018	10	20
05.09.2018	11	24
06.09.2018	15	26
07.09.2018	11	23
08.09.2018	11	13
09.09.2018	12	11
10.09.2018	13	25
11.09.2018	17	30
12.09.2018	17	29
13.09.2018	17	24
14.09.2018	12	24
15.09.2018	14	11
16.09.2018	15	12
17.09.2018	15	24
18.09.2018	18	30
19.09.2018	14	24
20.09.2018	15	28
21.09.2018	16	29
22.09.2018	7	11
23.09.2018	6	9
24.09.2018	3	19
25.09.2018	10	23
26.09.2018	12	26
27.09.2018	13	31
28.09.2018	17	30

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
29.09.2018	22	14
30.09.2018	13	12
01.10.2018	11	23
02.10.2018	6	25
03.10.2018	13	25
04.10.2018	12	23
05.10.2018	17	27
06.10.2018	14	21
07.10.2018	15	11
08.10.2018	18	24
09.10.2018	24	22
10.10.2018	9	14
11.10.2018	5	21
12.10.2018	7	32
13.10.2018	13	21
14.10.2018	10	5
15.10.2018	19	18
16.10.2018	26	36
17.10.2018	25	35
18.10.2018	37	34
19.10.2018	52	31
20.10.2018	48	18
21.10.2018	31	13
22.10.2018	29	30
23.10.2018	37	34
24.10.2018	19	37
25.10.2018	14	28
26.10.2018	11	26
27.10.2018	10	20
28.10.2018	3	15
29.10.2018	12	30
30.10.2018	---	20
31.10.2018	---	21
01.11.2018	---	16
02.11.2018	12	30
03.11.2018	28	22
04.11.2018	26	15
05.11.2018	---	17

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
06.11.2018	---	20
07.11.2018	20	34
08.11.2018	21	33
09.11.2018	25	30
10.11.2018	23	24
11.11.2018	16	19
12.11.2018	---	31
13.11.2018	---	34
14.11.2018	---	29
15.11.2018	---	30
16.11.2018	---	31
17.11.2018	---	23
18.11.2018	---	18
19.11.2018	---	32
20.11.2018	35	35
21.11.2018	29	41
22.11.2018	32	36
23.11.2018	32	37
24.11.2018	20	26
25.11.2018	17	20
26.11.2018	20	32
27.11.2018	7	34
28.11.2018	12	34
29.11.2018	---	38
30.11.2018	29	36
01.12.2018	15	24
02.12.2018	---	15
03.12.2018	---	28
04.12.2018	---	29
05.12.2018	---	34
06.12.2018	11	28
07.12.2018	---	33
08.12.2018	---	9
09.12.2018	---	4
10.12.2018	---	23
11.12.2018	---	---
12.12.2018	11	42

grau hinterlegt = Überschreitung des Immissionsgrenzwertes

--- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert

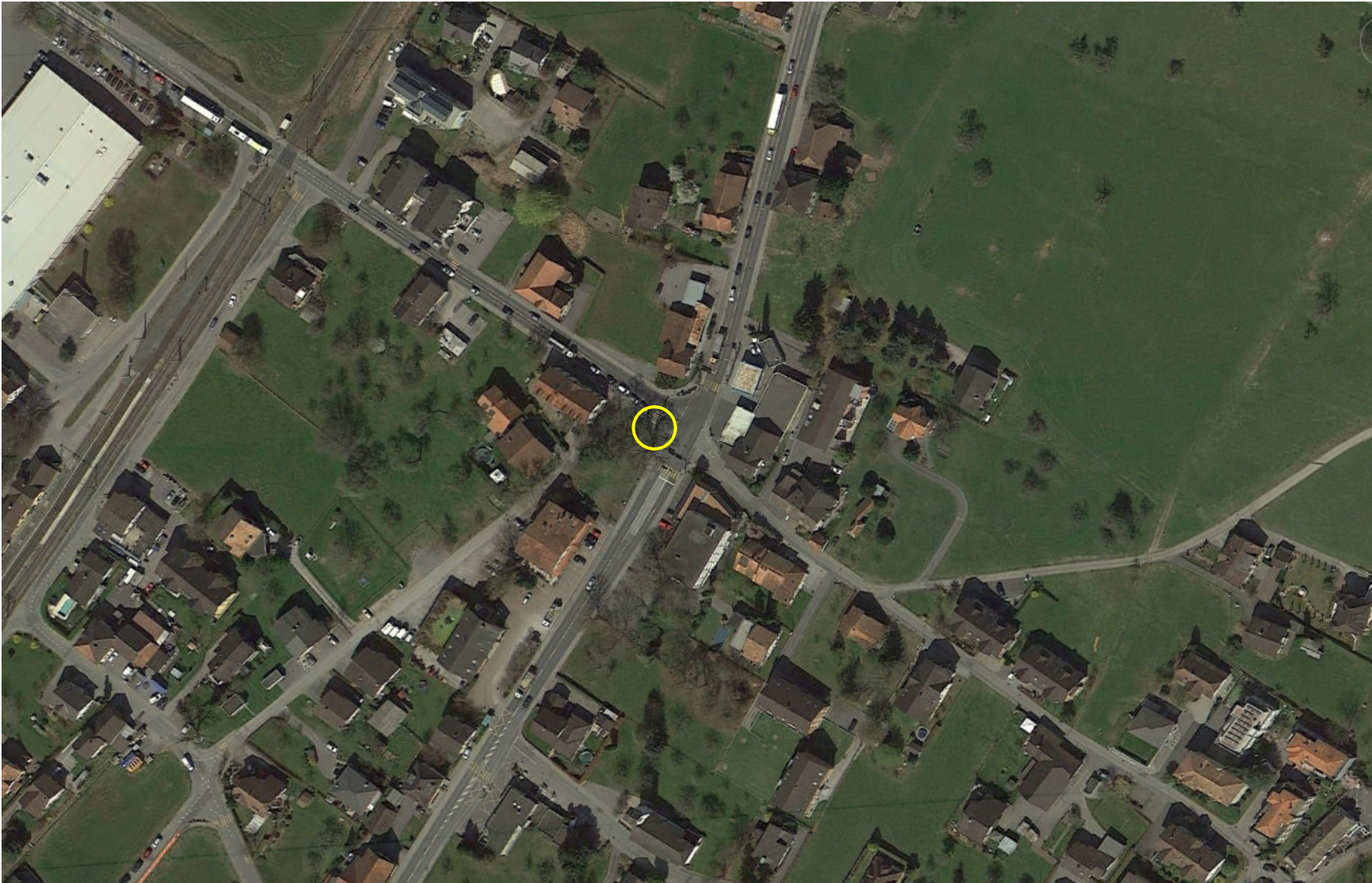
## ANHANG II Messstandort



Quelle: Geodatenportal Ilv.li

## ANHANG II

### Messtandort



Quelle: Goolge Earth