

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2016 AM STANDORT ESCHEN
ESSANESTRASSE



SCHAAN, APRIL 2018 / NADJA SPERANDIO, JÜRGEN BECKBISSINGER

Bericht_Eschen_2016_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	3
5. Messgerät	3
6. Messdauer	4
7. Qualitätssicherung	4
8. Resultate PM10	5
9. Resultate Stickoxide.....	13
10. Zusätzliche Auswertungen für PM10 und NO_x	18
 Anhänge:	
I Tagesmittelwerte	21
II Übersichtskarte	25

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 www.au.llv.li

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 15. Dezember 2015 bis zum 12. Dezember 2016 wurden in Eschen an der Essanestrasse mit einer mobilen Kleinmessstation kontinuierlich PM10- und NO_x-Immissionsmessungen durchgeführt. Im vorliegenden Bericht werden die Messresultate der erwähnten Zeitperiode dargestellt.

Die durchschnittliche PM10-Belastung während der Messperiode (Jahresmittelwert) lag am Standort Eschen Essanestrasse bei 16 µg/m³ und damit unter dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m³. Die durchschnittliche NO₂-Belastung lag bei 27 µg/m³. Der diesbezügliche Grenzwert von 30 µg/m³ wurde somit auch eingehalten.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ wurde während der einjährigen Messkampagne zweimal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 01. Januar 2016 mit 62 µg/m³ gemessen. Beim NO₂ wurde der Kurzzeitgrenzwert (max. Tagesmittelwert) eingehalten. Das maximale Tagesmittel für NO₂ wurde am 22. Januar 2016 mit 75 µg/m³ gemessen.

10% der PM10-Tagesmittelwerte (0.9-Quantil) lagen in der Zeitperiode vom 15. Dezember 2015 bis zum 12. Dezember 2016 über 30 µg/m³. In Vaduz betrug das 0.9-Quantil 20 µg/m³. Das 0.5-Quantil (Median) für PM10 lag in Eschen Essanestrasse bei 14 µg/m³ und in Vaduz Landesbibliothek bei 10 µg/m³. Die entsprechenden Werte für NO₂ lagen bei 43 µg/m³ in Eschen und 31 µg/m³ in Vaduz (0.9-Quantil) bzw. 25 µg/m³ in Eschen und 14 µg/m³ in Vaduz (0.5-Quantil).

Wie anhand der Messungen der Jahre 2009 und 2012 am Standort Eschen Essanestrasse bereits aufgezeigt werden konnte, werden aktuell die PM10-Immissionsgrenzwerte nach wie vor nicht eingehalten. Damit künftig diese, als auch die NO₂-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_x) die Summe aus den beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) 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 NO₂ 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 2011 auch Stickoxidmessungen, durchzuführen. Mit diesen Messungen soll ein Überblick über die Belastungen an unterschiedlichen Standorten in Liechtenstein gewonnen werden. Nach Messungen an den Standorten Schaan Wiesengass, Vaduz Äulestrasse, Ruggell Landstrasse, Schaanwald Vorarlbergerstrasse und Schaan Lindenkreuzung wurden vom 15. Dezember 2015 bis zum 12. Dezember 2016 in Eschen an der Essanestrasse nach 2009 und 2012 erneut kontinuierliche Immissionsmessungen mit einer Kleinmessstation vorgenommen. 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 auf dem Grundstück der Firma Marxana beim Eintrachtkreisel in Eschen. 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 zu nutze. Die in der Aussenluft vorhandenen Feinstaubpartikel werden auf einem Filter abgeschieden. Die abgeschiedene Partikelmasse wird durch die Abschwächung einer β -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 (Horiba APNA 360). Das Messprinzip beruht darauf, dass bei der Oxidation von NO zu NO₂ Licht entsteht (Chemilumineszenz). Die Lichtmenge, welche sich proportional zur Konzentration verhält, wird im Messgerät kontinuierlich gemessen. Die Messwerte werden ebenfalls als Halbstundenmittelwerte erfasst.

6. MESSDAUER

Die Auswertungen erfolgten mit den Messdaten der Periode vom 15. Dezember 2015 bis 12. Dezember 2016. 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_x-Messdaten ca. 14-tägig plausibilisiert. Einmal pro Woche erfolgte eine Auswertung der PM10-Messdaten. Die Resultate wurden im Sinne eines Wochenberichtes dem AU 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 Gerätetyp 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 Jahr 2011 erstmals parallel mit den Feinstaubmessungen durchgeführten Stickoxidmessungen. In Kapitel 10 werden zusätzlich Aspekte dargestellt, welche sich auf die Schadstoffe PM10 und NO_x 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 364 Messtagen wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von 50 µg/m³ zweimal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 01. Januar 2016 mit 62 µg/m³ gemessen. Es wird angenommen, dass die Verwendung von Silvesterfeuerwerk zu dieser erhöhten Belastung führte, da ab 0:30 Uhr die PM10-Konzentration stark anstieg und im Verlauf des Tages wieder abfiel (vgl. Abbildung 2).

Tagesmittel über dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m³ wurden am Standort Eschen Essanestrasse an 97 Tagen (27%) gemessen. Die mittlere Konzentration in der Zeit vom 15. Dezember 2015 bis zum 12. Dezember 2016 lag mit 16 µg/m³ unter dem Immissionsgrenzwert von 20 µg/m³.

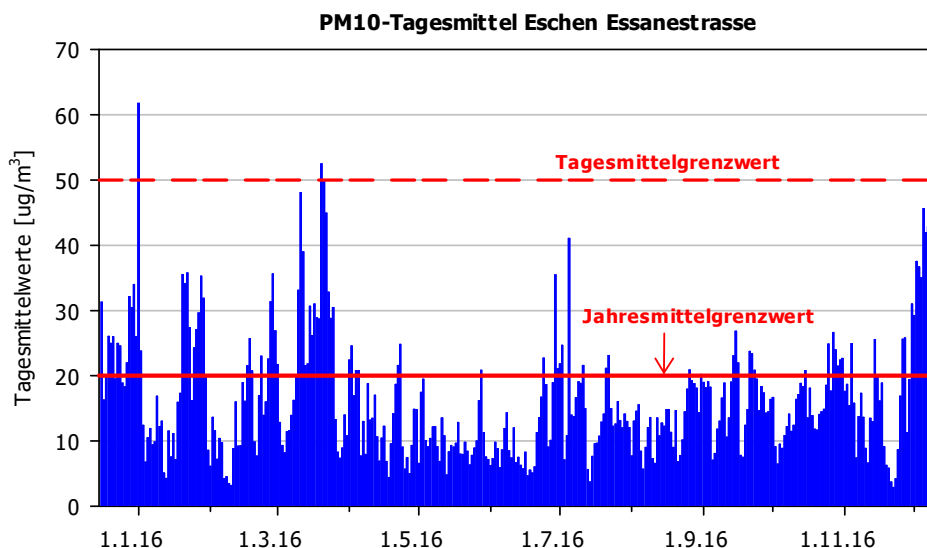


Abbildung 1 Tagesmittelwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016 am Standort Eschen Essanestrasse

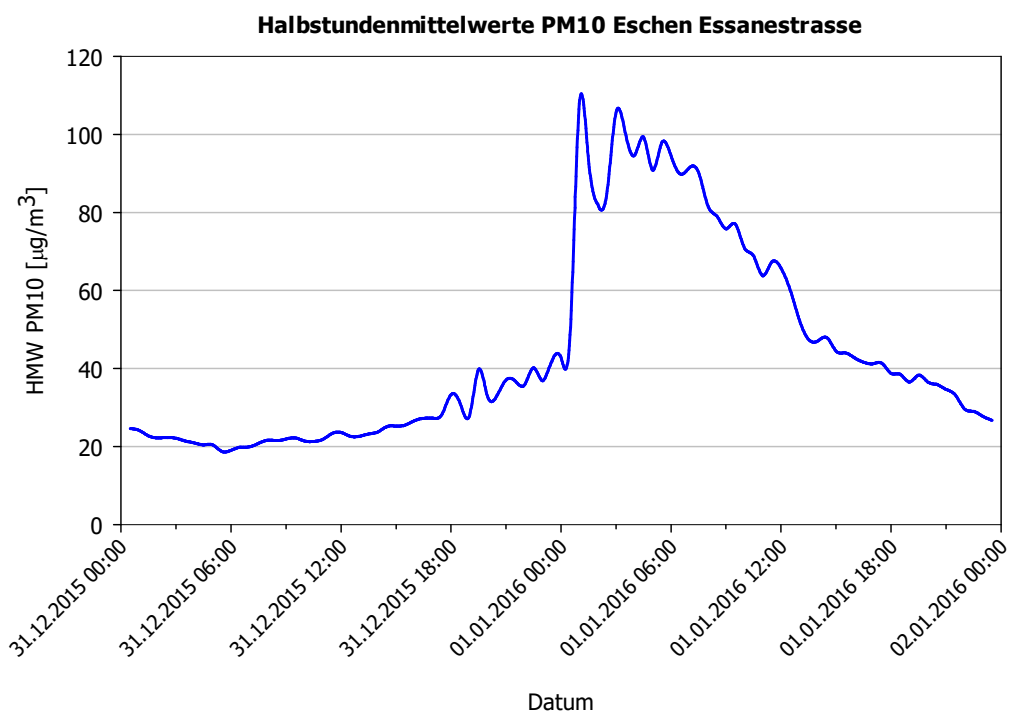


Abbildung 2 Halbstundenmittelwerte 31.12.15 bis 01.01.16 am Standort Eschen Essanestrasse

Wie aus dem Quantilplot (Abbildung 3) hervorgeht, lagen die Konzentrationen am Standort Eschen Essanestrasse bei den dargestellten Quantilen höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek. Das 0.9-Quantil betrug in Eschen $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33% tiefer als in Eschen). Das 0.5-Quantil (Median) war in Eschen mit $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um 40% höher als in Vaduz ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Quantilplot TM-PM10 Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

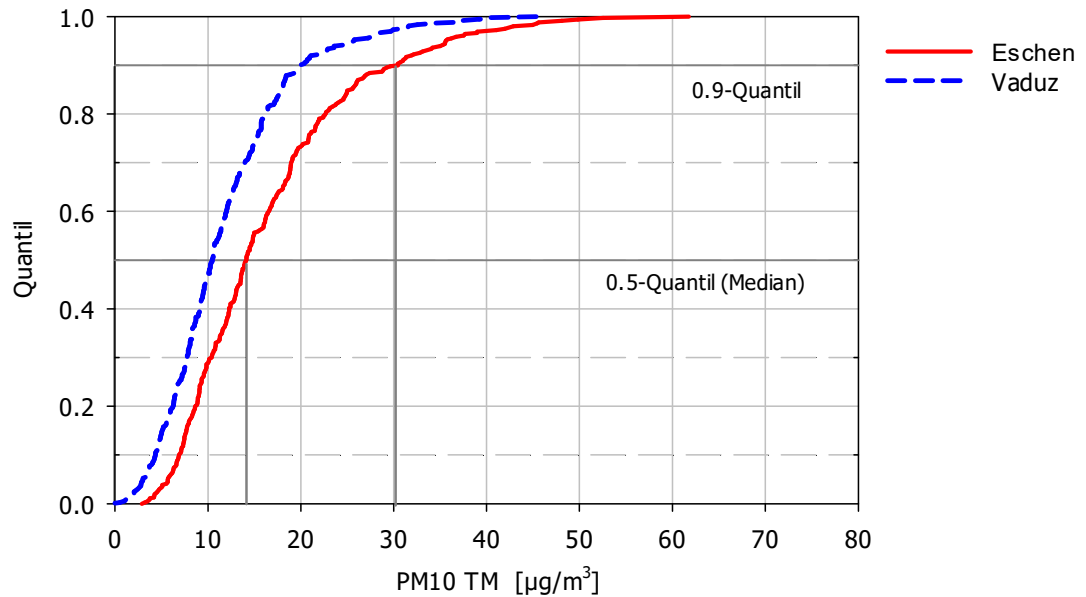


Abbildung 3 Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte (Dezember 2015 bis Dezember 2016) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

8.2. KURZZEITBELASTUNGEN

Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 29% der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden während 0.01% der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 4).

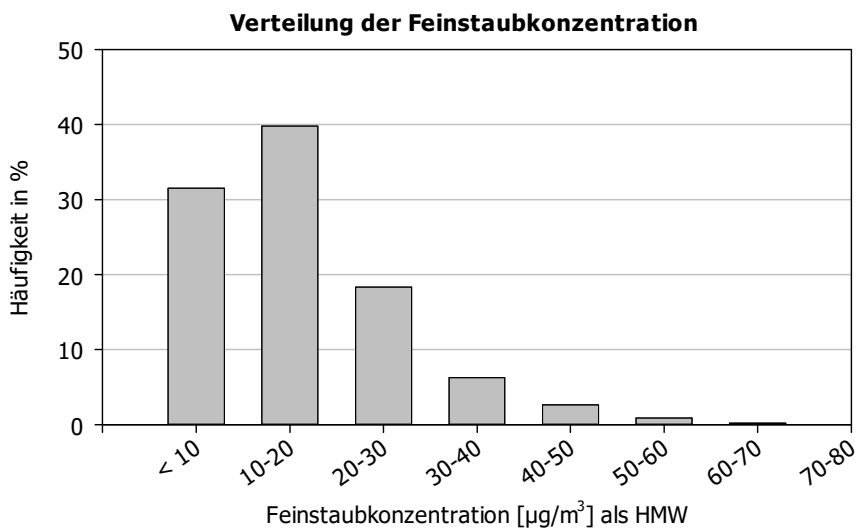


Abbildung 4 Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016) am Standort Eschen Essanestrasse

8.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert wird mit $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unterschritten. An zwei Tagen wurden hingegen Tagesmittelwerte über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Somit wurde der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit maximal einer Überschreitung pro Jahr nicht eingehalten. In Abbildung 5 ist die Häufigkeit der Überschreitungen grafisch dargestellt.

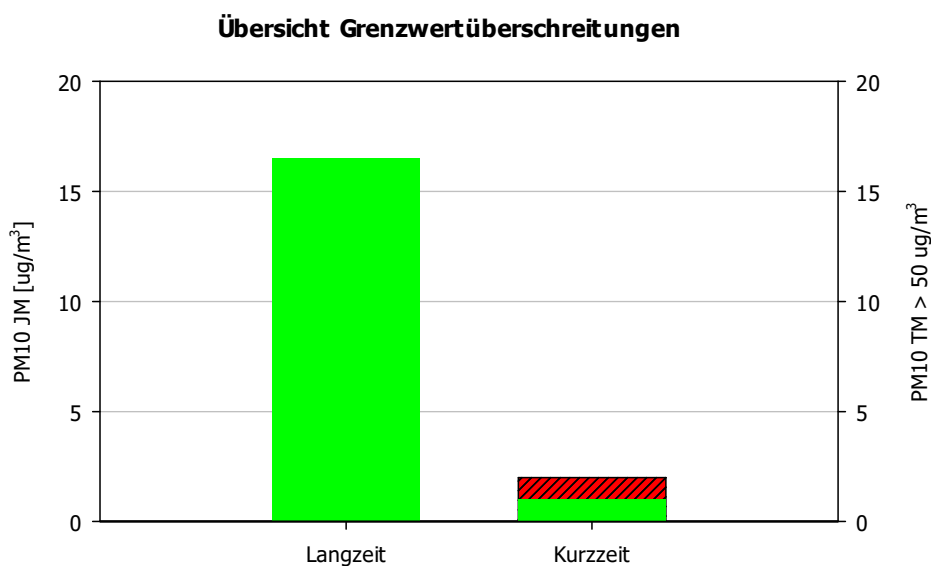


Abbildung 5 Vergleich der gemessenen PM10-Kurz- und -Langzeitmittelwerte am Standort Eschen Essanestrasse mit den geltenden PM10-Immissionsgrenzwerten --> Grün: Immissionsgrenzbereich, rot: Überschreitung des Immissionsgrenzwerts

8.4. WOCHEGANG

Der Wochengang am Standort Eschen Essanestrasse liegt im Vergleich zum Wochengang des Standorts Vaduz Landesbibliothek auf einem deutlich höheren Niveau (vgl. Abbildung 6). Von Sonntag bis Dienstag ist ein Anstieg der Belastung erkennbar. Die PM10-Konzentration flacht am Mittwoch und Donnerstag ab, wobei diese jeweils am Freitag wieder ansteigt und ihren Höchstwert erreicht.

Der Standort Vaduz Landesbibliothek weist einen divergenten Verlauf der PM10-Belastung auf. Die Maximal- und Minimalwerte hingegen sind an denselben Tagen wie in Eschen zu finden. Der Freitag ist am Standort Eschen Essanestrasse im Durchschnitt um 31% stärker belastet als der durchschnittliche Sonntag. Am Standort der Landesbibliothek Vaduz liegt dieser Wert bei 28%. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass an beiden Standorten anthropogene¹ Emissionen

¹Anthropogen bedeutet in diesem Zusammenhang vom Menschen verursacht bzw. beeinflusst

einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten. Die absolute Differenz am Standort Eschen zwischen der durchschnittlichen Belastung am Freitag und jener am Sonntag betrug $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Diese ist vergleichbar mit der Differenz derselben Tage am Standort Vaduz ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Wochengang Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

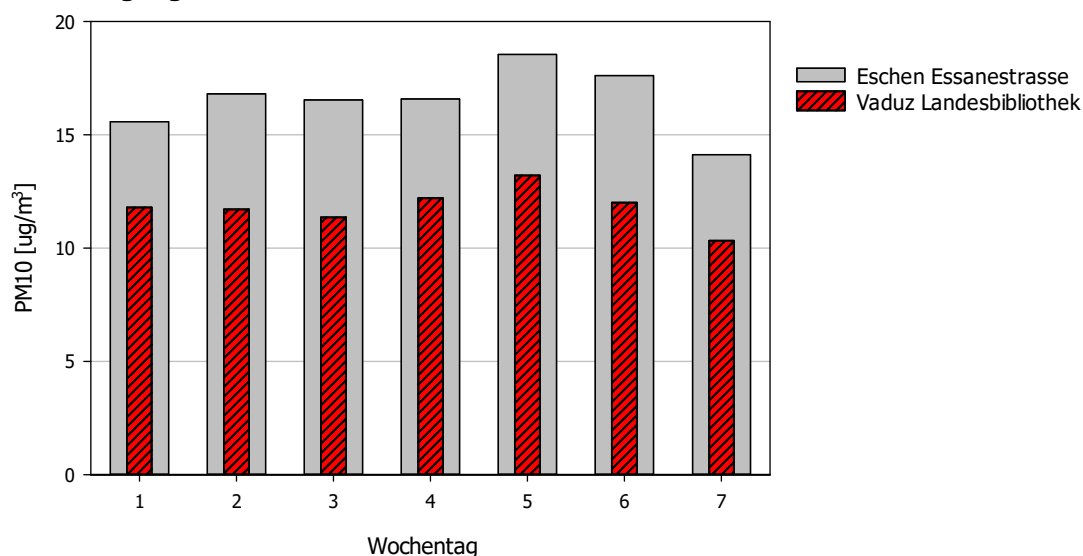


Abbildung 6 Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen ($\bar{\sigma}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2015 bis Dezember 2016) an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

8.5. TAGESGANG

Wie aus der Abbildung 7 hervorgeht, schwanken die PM10-Konzentrationen an Werktagen im Mittel in einem Bereich zwischen $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Nachmittag und $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den späten Abendstunden. Eine Mittagsspitze, wie sie im Tagesgang der Landesbibliothek Vaduz (vgl. Abbildung 8) ersichtlich ist, ist im Standort Eschen Essanestrasse nicht zu erkennen. Lediglich Abflachungen der PM10-Konzentrationen sind in den Morgen- und Mittagstunden am Standort Eschen festzustellen. Am späten Nachmittag kann hingegen ein deutlicher Anstieg der Belastung festgestellt werden. Die maximale Konzentration wird an Werktagen gegen 22:00 Uhr erreicht. Dies kann auch am Standort Vaduz beobachtet werden, jedoch auf einem tieferen Niveau. Im Gegensatz zum Standort Eschen Essanestrasse wurden in Vaduz die höchsten PM10-Belastungen in den (Vor-)Mittagsstunden registriert.

Die Tagesgänge der Belastungen an den Wochenendtagen verlaufen am Standort Eschen ähnlich, aber auf unterschiedlichen Niveaus. An Sonntagen schwanken die Konzentrationen zwischen $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und liegen somit auf dem tiefsten Niveau der Woche. 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.

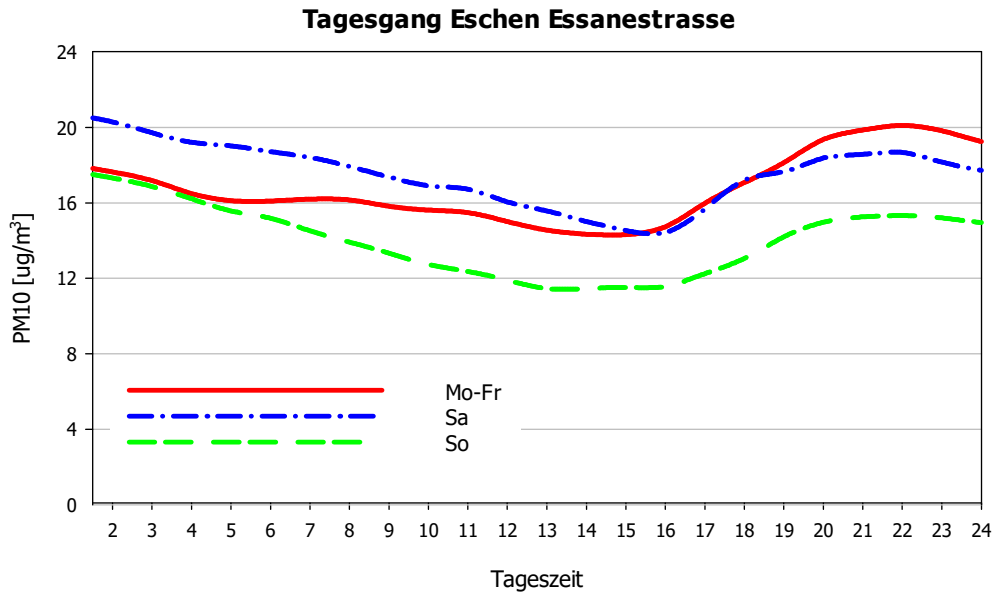


Abbildung 7 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Eschen Essanestrasse ($\bar{\sigma}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2015 bis Dezember 2016 an Werk- (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

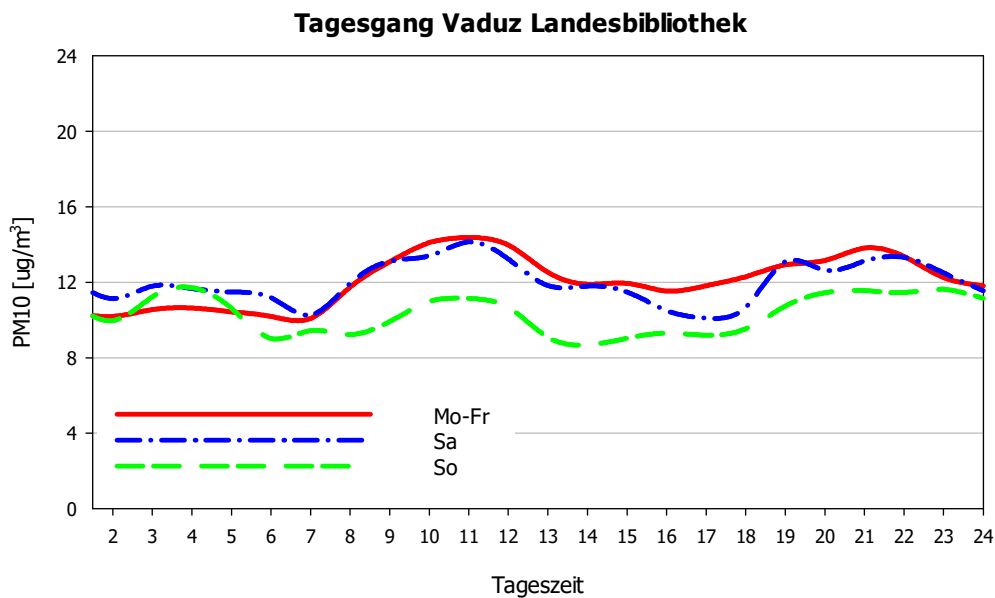


Abbildung 8 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek ($\bar{\sigma}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2015 bis Dezember 2016 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

In Abbildung 9 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek aufgeführt. Der Verlauf der

Quotienten am Standort Vaduz unterliegt grösseren Schwankungen als in Eschen. Eine geringere relative Belastung an Werktagen als an Sonntagen, wie sie in den frühen Morgenstunden bei der Landesbibliothek Vaduz registrierbar sind, können im Standort Eschen nicht festgestellt werden. Das bedeutet, dass die mittlere PM10-Belastung an diesem Standort an Werktagen zu jeder Zeit höher ist als an Sonntagen.

Ab 16:00 Uhr bis Mitternacht liegt der Quotient in Eschen konstant über jenem in Vaduz. In den Stunden nach 16:00 Uhr ist somit in Eschen die relative Differenz der mittleren Belastungen zwischen Sonn- und Werktagen deutlich höher als in Vaduz.

Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass bei steigendem Quotient auch der anthropogene Anteil an der Gesamtbelastung am jeweiligen Standort steigt.

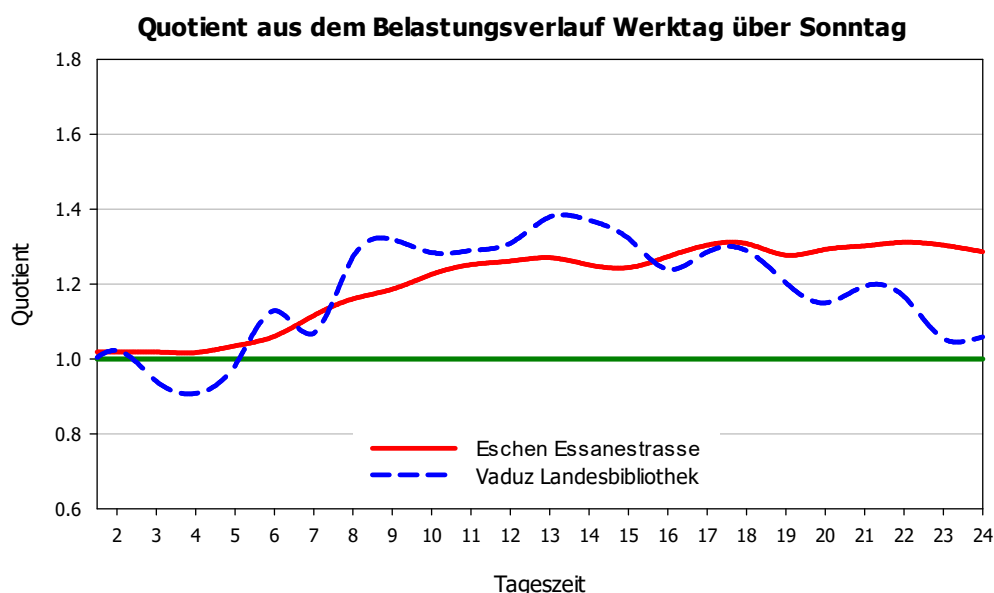


Abbildung 9 Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016). Lesebeispiel: Am Standort Eschen Essanestrasse sind die mittleren PM10-Konzentrationen am Nachmittag um 17:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.3 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit (17:00 Uhr). Der Wert 1 bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

Eine zusätzliche Auswertung basierend auf dem durchschnittlichen Tagesgang, erfolgt in Kapitel 10. Dort wird unter anderem auf die unterschiedlichen Verläufe der PM10- und NO₂-Immissionen eingegangen.

8.6. KORRELATION MIT MESSWERTEN ANDERER STANDORTE

Die Tagesmittelwerte der Messungen am Standort Eschen Essanestrasse korrelieren mässig ($r^2 = 0.73$) mit jenen an der Ostluft-Messstation Vaduz Landesbibliothek (vgl. Abbildung 10).

Lediglich an 40 der 363 Messtage wurden bei der Landesbibliothek Vaduz höhere Tagesmittelwerte als am Standort Eschen Essanestrasse registriert. 30 dieser 40 Tage wurden im Sommerhalbjahr gemessen (Mai bis Oktober). Damit wurden im Winterhalbjahr in Vaduz an lediglich 10 Tagen höhere Immissionsbelastungen registriert als am Standort Eschen Essanestrasse. Im Durchschnitt waren die PM10-Belastungen bei Konzentrationen im Bereich des Jahresmittelgrenzwertes von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($x=20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Eschen Essanestrasse um 30% höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek² (vgl. Abbildung 11).

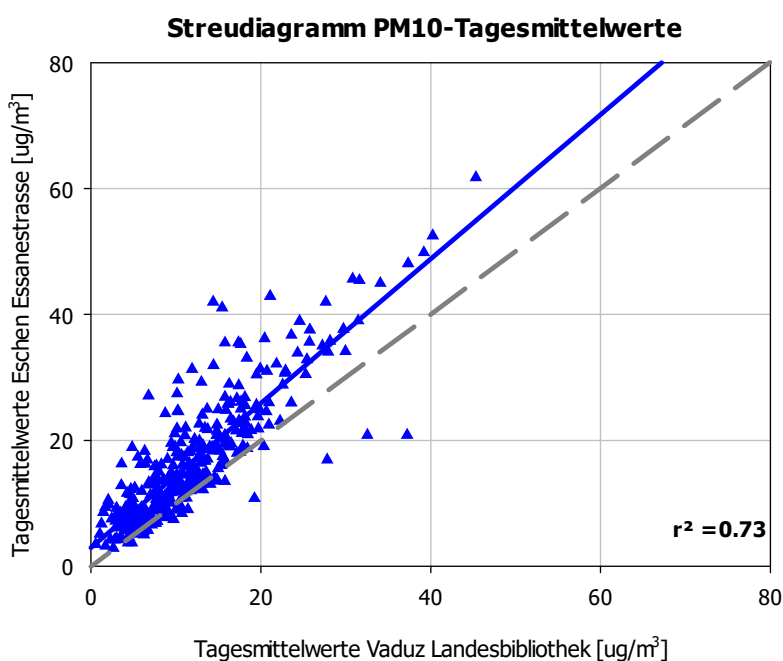


Abbildung 10 Streudiagramm der PM10-Tagesmittelwerte Eschen Essanestrasse und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2015 bis Dezember 2016)

²Die lineare Ausgleichsfunktion lautet $y = 1.15x + 2.94$

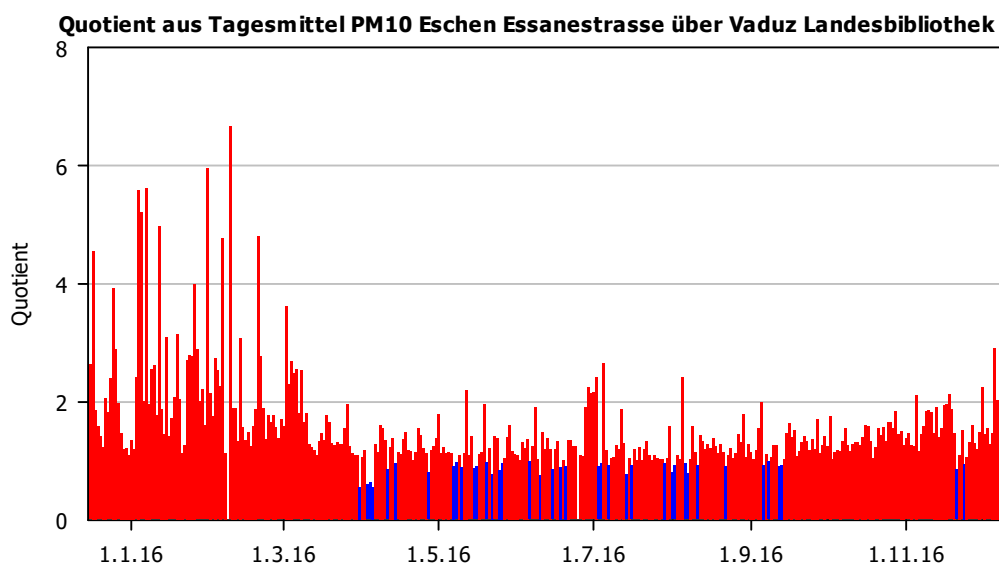


Abbildung 11 Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Eschen Essanestrasse über Vaduz Landesbibliothek von Dezember 2015 bis Dezember 2016. Rote Balken → Belastung war in Eschen Essanestrasse höher als in Vaduz; blaue Balken → Die Belastung bei der Landesbibliothek in Vaduz war höher als in Eschen. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung am Standort Eschen Essanestrasse 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 sind die in Bezug auf die geltenden Immissionsgrenzwerte relevanten Messresultate aufgeführt. Als Vergleich sind die jeweiligen Resultate der Messstation Vaduz dargestellt. In Eschen an der Essanestrasse wurde im Messjahr 2016 der Immissionsgrenzwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelgrenzwert nicht überschritten (Jahresmittel NO_2 -Konzentration $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In Vaduz wurden die LRV-Grenzwerte für Stickstoffdioxid mit $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ebenso eingehalten. Die in der Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellten NO_x -, NO_2 - und NO -Jahresmittelwerte sind beim Standort Eschen deutlich höher als beim Standort Vaduz. Dasselbe ist bei den maximalen Tagesmittelwerten feststellbar.

An dem nur ca. 35 m vom Messstandort „Eschen Essanestrasse“ entfernten Messstandort³ für NO_2 -Passivsammler (vgl. Abbildung 12) wurde mit $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine leicht höhere Belastung gemessen. Diese vergleichsweise geringe Differenz von $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lässt sich mit der

³ Quelle: Ausgemessen im Geodatenportal llv.li

leicht geringeren Entfernung zur Strasse erklären. Zudem ist die Messunsicherheit der NO₂-Passivsammlermessungen gegenüber den Messungen mit einem Monitor deutlich höher. Vergleicht man die Belastung der Essanestrasse Eschen mit den Jahresmittelwerten 2016 der NO₂-Passivsammler in Vaduz Landesbibliothek und dem alten Referenzstandort Vaduz Austrasse, so sind bei der Landesbibliothek Vaduz (17 µg/m³) die Belastungen geringer als in der Austrasse in Vaduz (19 µg/m³). Solche Abweichungen zwischen dem alten und neuen Referenzstandort Vaduz müssten folglich bei einem Vergleich der Belastungen des Mess- und Referenzstandorts berücksichtigt werden.

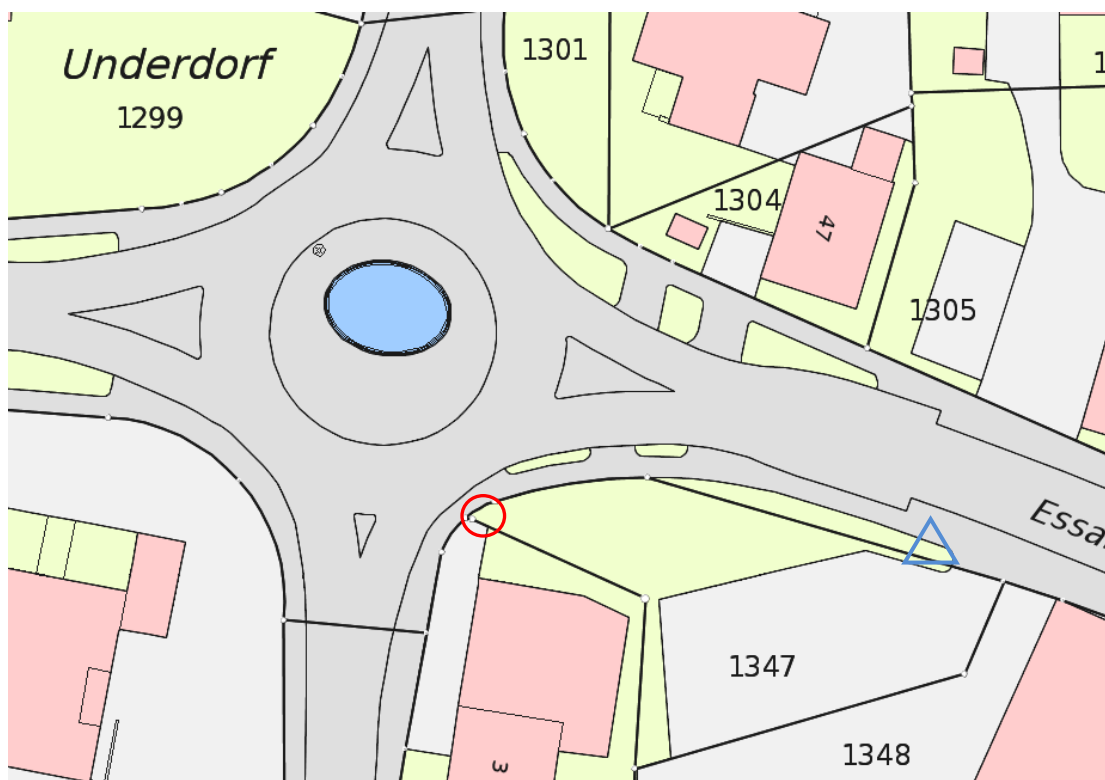


Abbildung 12 Situation Eschen Essanestrasse mit Messstandort für PM₁₀ und NO₂ kontinuierlich (roter Kreis) und NO₂-Passivsammlerstandort (blaues Dreieck). Quelle Karte: Geoportal FL

Tabelle 1 Übersicht der relevanten NO₂-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten [µg/m³]

Standort	JMW	95%-Perzentil	Max. TMW	Tage >80 µg/m ³ [Tage]
Eschen	27	57	75	0
Vaduz ¹⁾	17	37	59	0
Immissionsgrenzwert	30	100	-	1

¹⁾ Quelle: Jahresbericht Ostluft

Tabelle 2 Übersicht der relevanten NO_x- und NO-Messergebnisse

Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	NO _x [ppb]	NO [µg/m ³]	NO _x [ppb]	NO [µg/m ³]
Eschen	32	21	160	144
Vaduz ¹⁾	14	7	85	71

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

Anhand eines Vergleiches der NO₂-Tagesmittelwerte (siehe Streudiagramm Abbildung 13) an beiden Standorten kann festgestellt werden, dass die Belastung in Eschen, bis auf wenige Tage, im gemessenen Zeitraum, höher war als in Vaduz. Am Verlauf der Ausgleichsgeraden zur gestrichelten Hilfslinie mit Steigung 1 kann entnommen werden, dass der Konzentrationsunterschied zwischen den beiden Standorten im Durchschnitt 8 µg/m³ oder mehr beträgt⁴. Es gibt jedoch, wie aus der Abbildung 13 ersichtlich ist, auch einzelne Tage, an denen am Standort Eschen massiv höhere Belastungen als an der Landesbibliothek Vaduz gemessen wurden. So wurde beispielsweise am 26. Januar 2016 in Eschen ein Tagesmittelwert für NO₂ von 60 µg/m³ und in Vaduz von lediglich 22 µg/m³ gemessen.

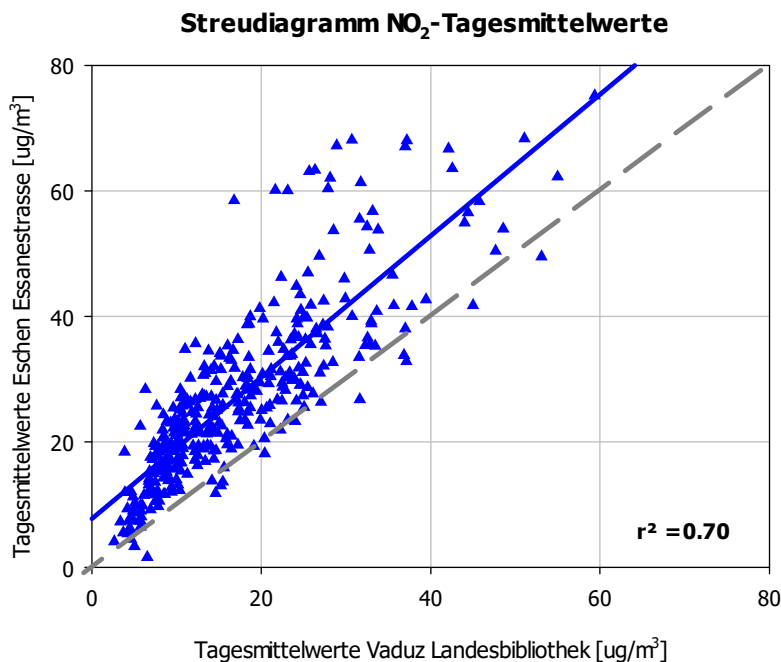


Abbildung 13 Streudiagramm der NO₂-Tagesmittelwerte Eschen Essanestrassse und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2015 bis Dezember 2016).

Der Verlauf der NO₂-Tagesmittelwerte ist in der unten dargestellten Abbildung ersichtlich. Wie erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von 80 µg/m³.

⁴ Lineare Ausgleichsfunktion 1.13x+7.75

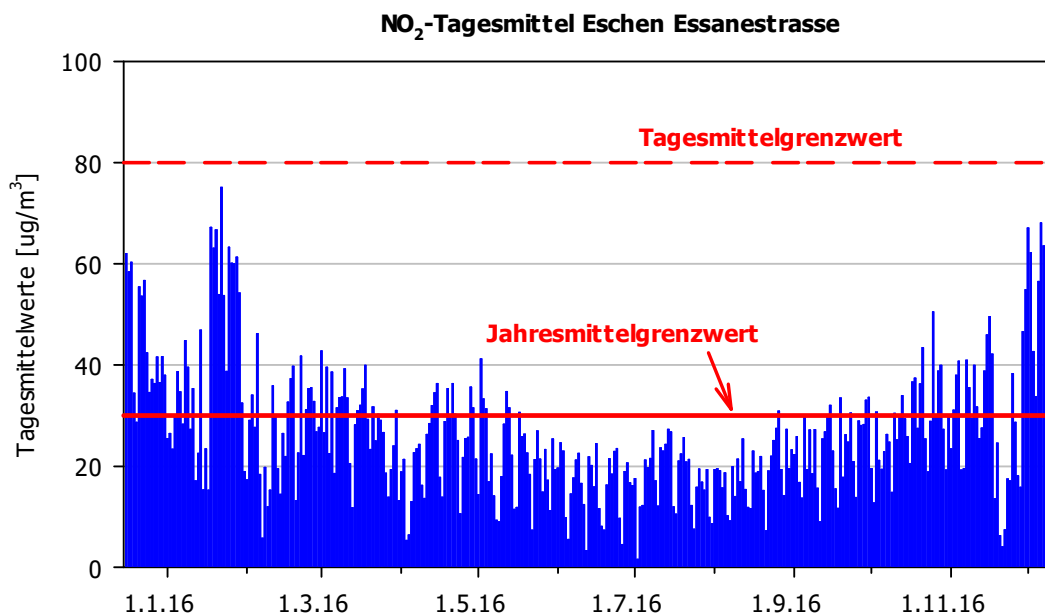


Abbildung 14 NO₂-Tagesmittelwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016 am Standort Eschen Essanestrasse

Der mittlere Tagesgang der NO₂-Belastung unterliegt an beiden Standorten, vor allem an den Werktagen, starken Schwankungen (vgl. Abbildung 15). So steigt die NO₂-Belastung am Standort Eschen Essanestrasse im Durchschnitt von 04:00 Uhr am Morgen bis 08:00 Uhr um ca. 360% Prozent von 13 auf 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Auch bei der Landesbibliothek in Vaduz fanden starke Schwankungen an den Morgen- und Abendstunden statt. Diese bewegen sich im Vergleich mit den Ergebnissen des Standorts Eschen jedoch in einem deutlich geringeren Konzentrationsbereich, da der Standort Vaduz Landesbibliothek deutlich weniger verkehrsexponiert ist. An Sonntagen fallen solche morgendlichen und abendlichen Schwankungen an beiden Standorten geringer aus. Daher wird angenommen, dass der Strassenverkehr die Hauptquelle der gemessenen Belastungen an Werktagen ist. Diese Beobachtung wird in der Abbildung 16 veranschaulicht.

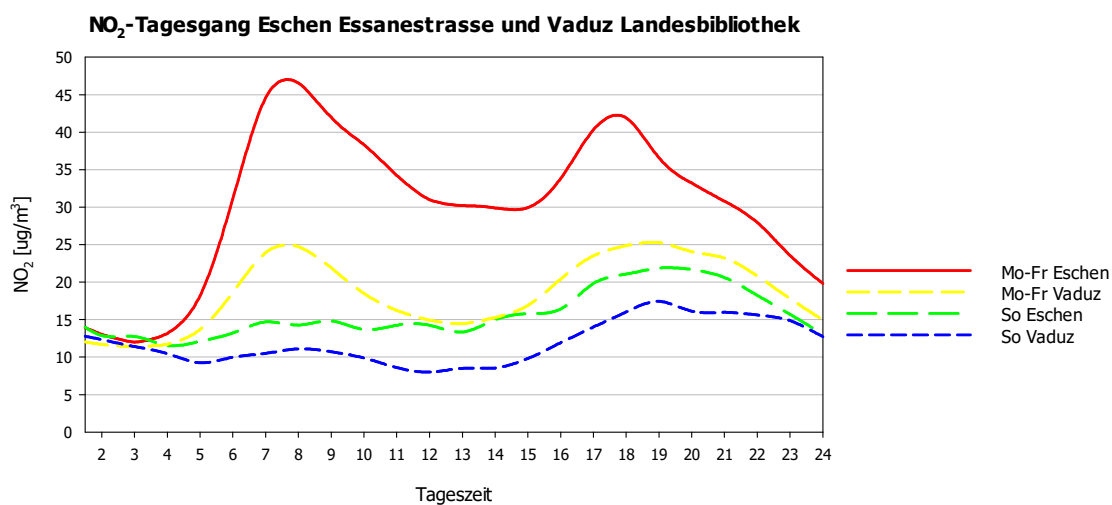


Abbildung 15 Mittlerer Tagesgang der NO₂-Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2015 bis Dezember 2016 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

Die relativen Schwankungen der Tagesgänge zwischen Sonntagen und Werktagen sind an beiden Standorten ähnlich, jedoch auf unterschiedlichem Niveau. So werden beispielsweise am Standort Eschen werktags um 08:00 Uhr um den Faktor 3.3 höhere Belastungen gemessen als an Sonntagen. Am Standort Vaduz fallen die berechneten Quotienten deutlich geringer aus.

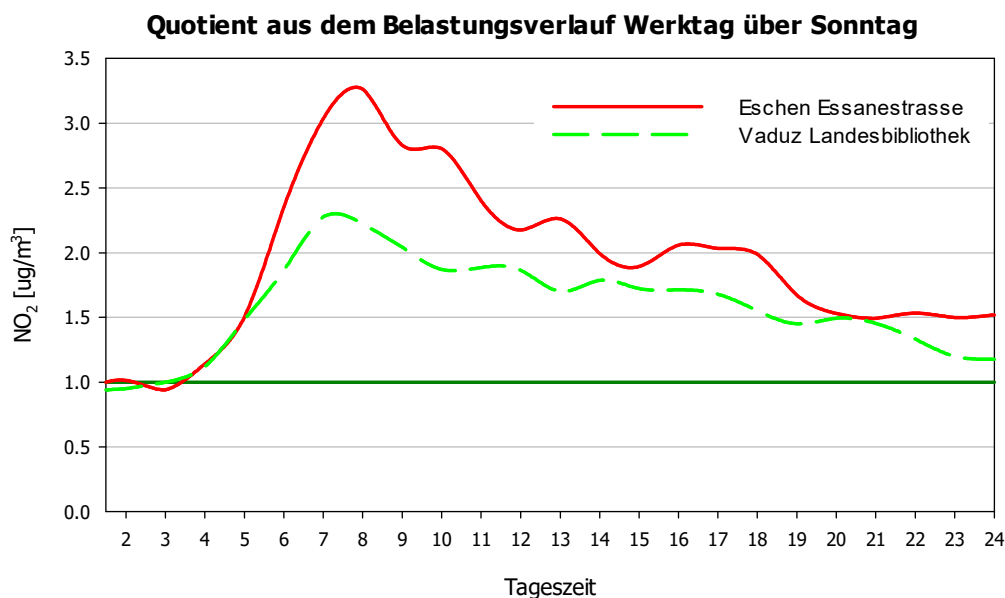


Abbildung 16 Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016). Lesebeispiel: An Werktagen sind im Standort Eschen Essanestrasse die mittleren NO₂-Konzentrationen morgens um 08:00 Uhr um den Faktor 3.3 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.

In Abbildung 17 ist der durchschnittliche Wochengang der NO₂-Belastung an den Standorten Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek dargestellt. Ähnlich des Verlaufes der PM10-Belastung, wurde am Freitag die höchste Belastung gemessen. Von Sonntag bis Freitag steigt die NO₂-Konzentration beim gemessenen Standort in Eschen stetig an. Ab Freitag bis Sonntag fällt die Belastung aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens sowie weniger Aktivitäten in Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungssektor an beiden Standorten wieder ab. Verläufe mit höheren Belastungen an Werktagen als an Sonntagen sind bei vielen Standorten in besiedelten Gebieten feststellbar.

Wochengang Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

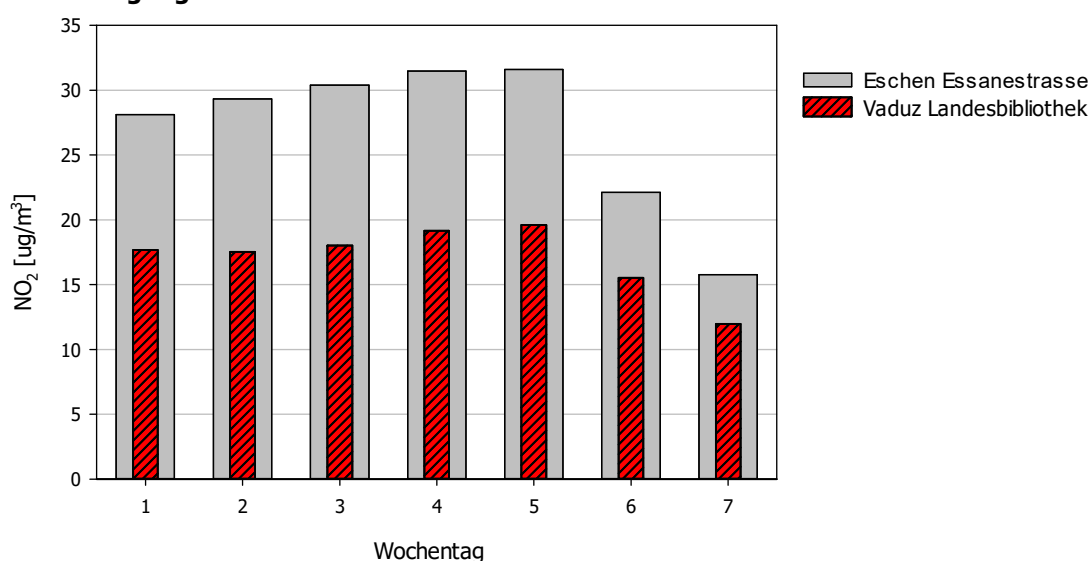


Abbildung 17 Mittlere NO₂-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2015 bis Dezember 2016) am Standort Eschen Essanestrasse und Vaduz Landesbibliothek

10. ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN FÜR PM10 UND NO_x

Wie eingangs des Berichtes erwähnt, werden seit dem Jahr 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 NO₂-Belastung oder aus der NO₂-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. Die im Sommerhalbjahr durchgeführten Messungen weisen eine noch geringere Korrelation auf (vgl. Abbildung 19).

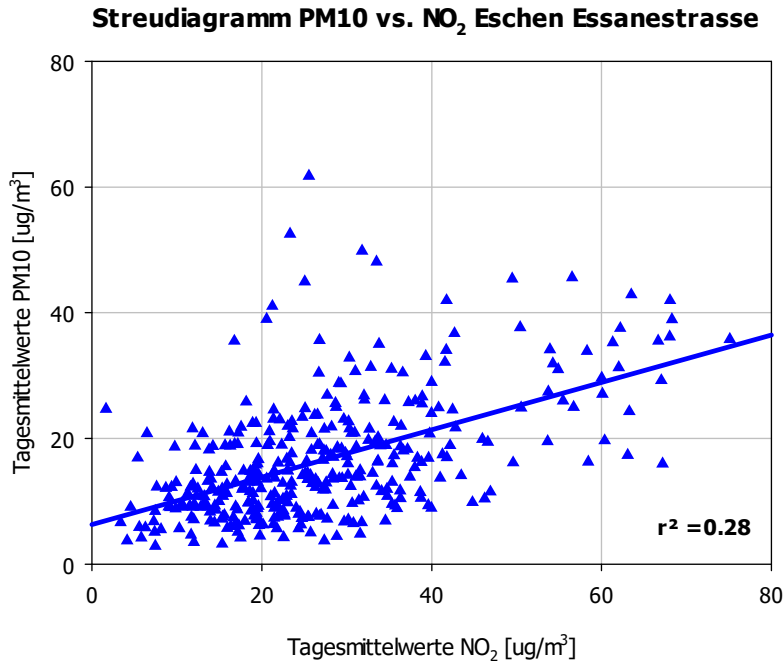


Abbildung 18 Streudiagramm der NO₂- und PM10 Tagesmittelwerte Eschen Essanestrasse (Dezember 2015 bis Dezember 2016).

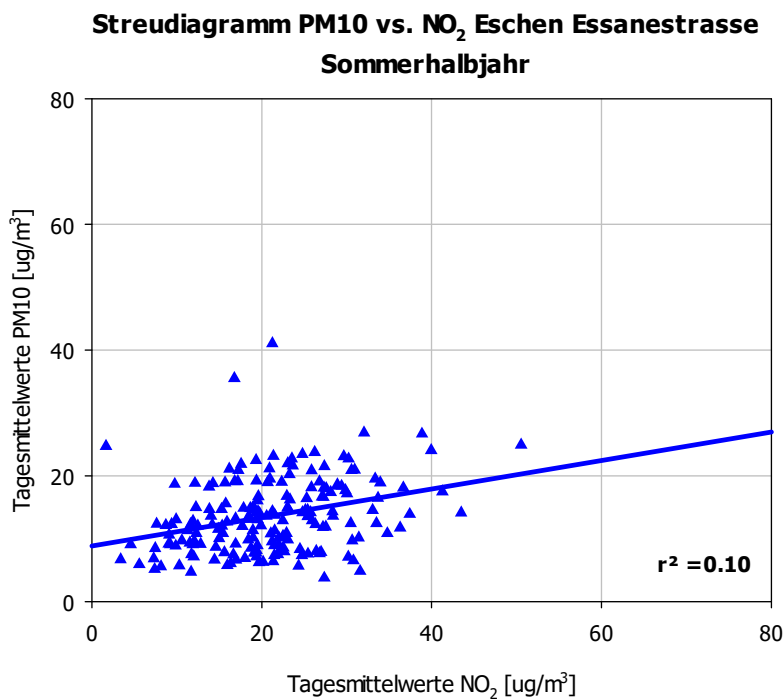


Abbildung 19 Streudiagramm der NO₂- und PM10 Tagesmittelwerte Eschen Essanestrasse im Sommerhalbjahr (Mai 2016 bis Oktober 2016).

Aus der Abbildung 20 ist ersichtlich, dass der Tagesgang der NO₂-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 Eschen deutlich niedriger ist als der Anteil an der NO₂-Belastung. Während die NO₂-Konzentrationen im angeführten Beispiel zwischen dem Faktor 0.4 bis 1.5 schwanken, ist beim PM10 eine enge Spannbreite (0.9 bis 1.2) gegeben.

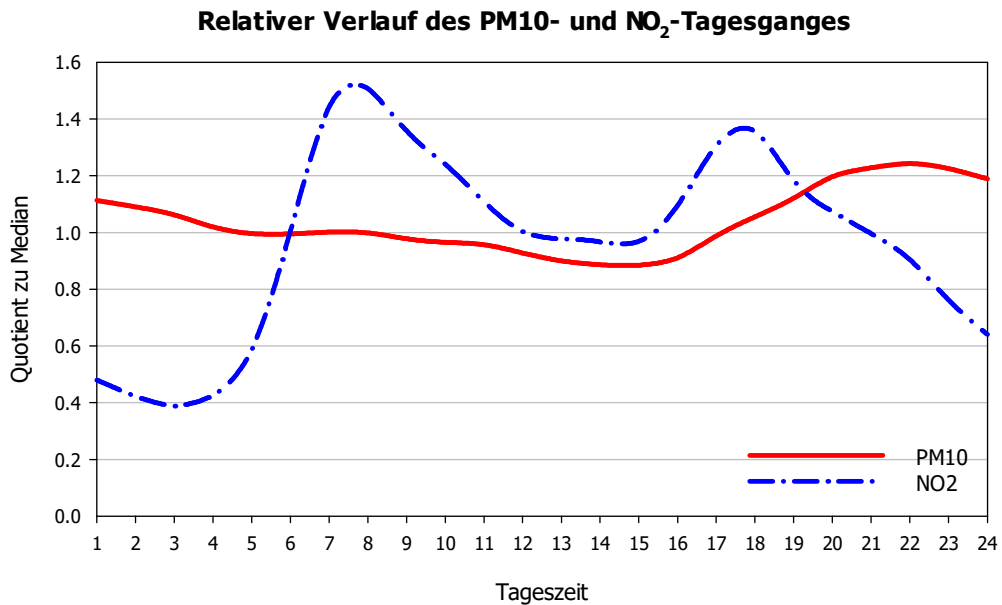


Abbildung 20 Quotient aus dem Median⁵ der durchschnittlichen Stundenwerte der Feinstaub- und NO₂-Konzentration an Werktagen (Messwerte Dezember 2015 bis Dezember 2016). Lesebeispiel: Um 17:00 Uhr sind die NO₂-Belastungen im Durchschnitt um den Faktor 1.3 höher als der Median aller durchschnittlichen Stundenwerte. Der Wert 1 bedeutet, dass die Belastung in dieser Stunde dem Median entspricht.

⁵ Der Median einer Zahlenreihe ist die Zahl, welche an der mittleren Stelle steht, wenn man die Werte nach Größe sortiert.

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte Standort Eschen Essanestrasse

Datum	PM10	NO ₂
15.12.2015	36	68
16.12.2015	31	62
17.12.2015	16	58
18.12.2015	20	60
19.12.2015	26	34
20.12.2015	25	29
21.12.2015	26	55
22.12.2015	20	54
23.12.2015	25	57
24.12.2015	25	42
25.12.2015	19	35
26.12.2015	18	37
27.12.2015	22	36
28.12.2015	32	42
29.12.2015	30	37
30.12.2015	34	42
31.12.2015	26	38
01.01.2016	62	26
02.01.2016	24	27
03.01.2016	12	23
04.01.2016	7	30
05.01.2016	11	39
06.01.2016	12	35
07.01.2016	9	28
08.01.2016	10	45
09.01.2016	17	40
10.01.2016	12	27
11.01.2016	13	35
12.01.2016	5	17
13.01.2016	4	23
14.01.2016	12	47
15.01.2016	8	15
16.01.2016	11	23
17.01.2016	7	15
18.01.2016	16	67
19.01.2016	17	63
20.01.2016	36	67

Datum	PM10	NO ₂
21.01.2016	34	54
22.01.2016	36	75
23.01.2016	27	54
24.01.2016	16	39
25.01.2016	24	63
26.01.2016	27	60
27.01.2016	30	60
28.01.2016	35	61
29.01.2016	32	54
30.01.2016	20	33
31.01.2016	9	19
01.02.2016	6	17
02.02.2016	14	29
03.02.2016	12	34
04.02.2016	7	28
05.02.2016	10	46
06.02.2016	10	18
07.02.2016	4	6
08.02.2016	5	20
09.02.2016	3	12
10.02.2016	3	15
11.02.2016	9	36
12.02.2016	16	30
13.02.2016	9	20
14.02.2016	9	14
15.02.2016	19	27
16.02.2016	16	22
17.02.2016	22	33
18.02.2016	26	37
19.02.2016	21	40
20.02.2016	10	13
21.02.2016	8	23
22.02.2016	17	42
23.02.2016	23	22
24.02.2016	14	31
25.02.2016	16	35
26.02.2016	23	36

Datum	PM10	NO ₂
27.02.2016	31	33
28.02.2016	36	27
29.02.2016	27	28
01.03.2016	22	43
02.03.2016	13	27
03.03.2016	9	40
04.03.2016	8	22
05.03.2016	11	39
06.03.2016	12	19
07.03.2016	14	32
08.03.2016	16	34
09.03.2016	20	34
10.03.2016	33	39
11.03.2016	48	34
12.03.2016	39	21
13.03.2016	22	12
14.03.2016	22	28
15.03.2016	31	31
16.03.2016	26	32
17.03.2016	31	35
18.03.2016	29	40
19.03.2016	29	29
20.03.2016	53	23
21.03.2016	50	32
22.03.2016	45	25
23.03.2016	33	30
24.03.2016	29	29
25.03.2016	30	27
26.03.2016	13	19
27.03.2016	8	14
28.03.2016	7	19
29.03.2016	9	24
30.03.2016	14	31
31.03.2016	11	13
01.04.2016	22	19
02.04.2016	25	21
03.04.2016	17	5

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte Standort Eschen Essanestrasse

Datum	PM10	NO ₂
04.04.2016	21	6
05.04.2016	21	13
06.04.2016	8	23
07.04.2016	13	23
08.04.2016	8	24
09.04.2016	19	16
10.04.2016	13	14
11.04.2016	14	26
12.04.2016	17	28
13.04.2016	11	32
14.04.2016	7	35
15.04.2016	10	36
16.04.2016	12	18
17.04.2016	7	14
18.04.2016	4	29
19.04.2016	10	35
20.04.2016	14	30
21.04.2016	19	36
22.04.2016	22	30
23.04.2016	25	25
24.04.2016	9	11
25.04.2016	6	22
26.04.2016	7	25
27.04.2016	5	26
28.04.2016	9	36
29.04.2016	15	32
30.04.2016	15	21
01.05.2016	7	14
02.05.2016	17	41
03.05.2016	19	33
04.05.2016	10	31
05.05.2016	9	17
06.05.2016	10	22
07.05.2016	12	14
08.05.2016	12	9
09.05.2016	9	9
10.05.2016	7	18

Datum	PM10	NO ₂
11.05.2016	14	28
12.05.2016	11	35
13.05.2016	5	32
14.05.2016	8	22
15.05.2016	9	12
16.05.2016	9	12
17.05.2016	10	31
18.05.2016	13	26
19.05.2016	8	26
20.05.2016	8	23
21.05.2016	10	18
22.05.2016	8	7
23.05.2016	6	21
24.05.2016	8	27
25.05.2016	9	21
26.05.2016	10	15
27.05.2016	16	23
28.05.2016	21	17
29.05.2016	11	11
30.05.2016	8	25
31.05.2016	7	19
01.06.2016	6	20
02.06.2016	7	25
03.06.2016	10	23
04.06.2016	9	10
05.06.2016	6	6
06.06.2016	9	15
07.06.2016	12	18
08.06.2016	14	21
09.06.2016	9	23
10.06.2016	7	17
11.06.2016	12	12
12.06.2016	7	3
13.06.2016	7	22
14.06.2016	6	20
15.06.2016	6	16
16.06.2016	8	24

Datum	PM10	NO ₂
17.06.2016	5	12
18.06.2016	6	8
19.06.2016	5	7
20.06.2016	6	16
21.06.2016	11	21
22.06.2016	14	18
23.06.2016	17	23
24.06.2016	23	24
25.06.2016	19	10
26.06.2016	9	5
27.06.2016	10	19
28.06.2016	19	21
29.06.2016	35	17
30.06.2016	21	16
01.07.2016	22	18
02.07.2016	25	2
03.07.2016	7	12
04.07.2016	11	12
05.07.2016	41	21
06.07.2016	14	20
07.07.2016	14	22
08.07.2016	17	27
09.07.2016	19	17
10.07.2016	19	12
11.07.2016	22	24
12.07.2016	15	23
13.07.2016	6	24
14.07.2016	4	27
15.07.2016	8	27
16.07.2016	10	12
17.07.2016	10	11
18.07.2016	11	21
19.07.2016	13	22
20.07.2016	14	26
21.07.2016	21	21
22.07.2016	23	21
23.07.2016	15	12

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte Standort Eschen Essanestrasse

Datum	PM10	NO ₂
24.07.2016	12	8
25.07.2016	13	16
26.07.2016	16	19
27.07.2016	13	17
28.07.2016	12	15
29.07.2016	14	19
30.07.2016	13	10
31.07.2016	12	9
01.08.2016	8	19
02.08.2016	13	20
03.08.2016	15	19
04.08.2016	16	16
05.08.2016	8	19
06.08.2016	6	10
07.08.2016	9	9
08.08.2016	12	20
09.08.2016	14	14
10.08.2016	7	21
11.08.2016	7	17
12.08.2016	14	25
13.08.2016	11	15
14.08.2016	13	12
15.08.2016	12	12
16.08.2016	15	23
17.08.2016	15	19
18.08.2016	11	19
19.08.2016	9	22
20.08.2016	15	15
21.08.2016	7	7
22.08.2016	8	19
23.08.2016	10	22
24.08.2016	15	25
25.08.2016	18	28
26.08.2016	21	31
27.08.2016	19	19
28.08.2016	19	14
29.08.2016	18	27

Datum	PM10	NO ₂
30.08.2016	14	20
31.08.2016	20	23
01.09.2016	19	22
02.09.2016	18	26
03.09.2016	19	17
04.09.2016	18	14
05.09.2016	7	30
06.09.2016	8	19
07.09.2016	12	27
08.09.2016	13	19
09.09.2016	17	27
10.09.2016	19	16
11.09.2016	11	9
12.09.2016	14	25
13.09.2016	19	27
14.09.2016	23	30
15.09.2016	27	32
16.09.2016	22	23
17.09.2016	8	16
18.09.2016	7	12
19.09.2016	12	33
20.09.2016	15	18
21.09.2016	24	26
22.09.2016	23	25
23.09.2016	21	31
24.09.2016	20	21
25.09.2016	15	14
26.09.2016	18	29
27.09.2016	17	28
28.09.2016	14	28
29.09.2016	15	33
30.09.2016	16	34
01.10.2016	17	20
02.10.2016	9	13
03.10.2016	6	31
04.10.2016	10	21
05.10.2016	9	19

Datum	PM10	NO ₂
06.10.2016	11	23
07.10.2016	12	26
08.10.2016	14	25
09.10.2016	11	15
10.10.2016	12	30
11.10.2016	16	25
12.10.2016	17	30
13.10.2016	19	34
14.10.2016	18	29
15.10.2016	21	26
16.10.2016	14	21
17.10.2016	18	37
18.10.2016	14	37
19.10.2016	12	28
20.10.2016	12	36
21.10.2016	14	43
22.10.2016	15	25
23.10.2016	15	19
24.10.2016	19	29
25.10.2016	25	51
26.10.2016	18	30
27.10.2016	27	39
28.10.2016	24	40
29.10.2016	22	27
30.10.2016	22	19
31.10.2016	23	30
01.11.2016	18	23
02.11.2016	19	31
03.11.2016	15	38
04.11.2016	25	41
05.11.2016	16	19
06.11.2016	7	20
07.11.2016	14	41
08.11.2016	17	36
09.11.2016	14	29
10.11.2016	9	40
11.11.2016	7	32

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte Standort Eschen Essanestrasse

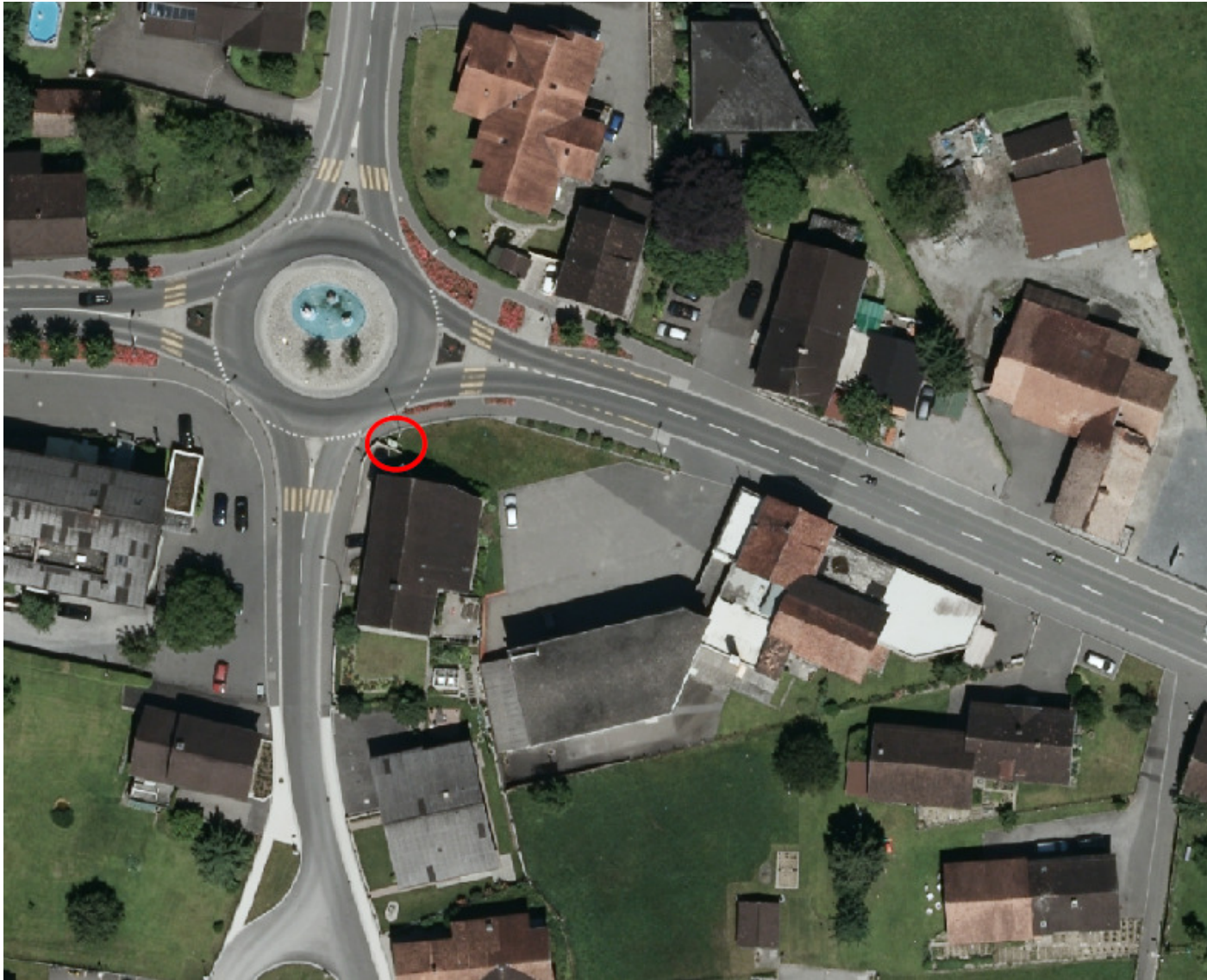
Datum	PM10	NO ₂
12.11.2016	13	25
13.11.2016	13	28
14.11.2016	26	39
15.11.2016	20	46
16.11.2016	16	50
17.11.2016	19	42
18.11.2016	9	14
19.11.2016	6	25
20.11.2016	6	6
21.11.2016	4	4
22.11.2016	3	7
23.11.2016	4	17
24.11.2016	9	17

Datum	PM10	NO ₂
25.11.2016	17	38
26.11.2016	26	29
27.11.2016	26	18
28.11.2016	11	16
29.11.2016	19	47
30.11.2016	31	55
01.12.2016	29	67
02.12.2016	38	62
03.12.2016	37	43
04.12.2016	35	34
05.12.2016	46	57
06.12.2016	42	68
07.12.2016	43	64

Datum	PM10	NO ₂
08.12.2016	38	50
09.12.2016	39	68
10.12.2016	45	49
11.12.2016	42	42
12.12.2016	34	58

grau hinterlegt = Überschreitung des Immissionsgrenzwertes

ANHANG II



Aus Geodatenportal Ilv.li