

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2015 AM STANDORT SCHAANWALD
ZUSCHG



SCHAAN, JANUAR 2017 / JÜRGEN BECKBISSINGER

Bericht_Schaanwald_2015_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.	RESULTATE PM10	5
6.	RESULTATE STICKOXIDE	13
7.	ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN FÜR PM10 UND NO _x	18

Anhänge:

I	Tagesmittelwerte	23
II	Übersichtskarte	27

IMPRESSUM:

Herausgeber:	Amt für Umwelt Liechtenstein
Inhalt:	Acontec AG, Schaan
Messungen:	Acontec AG, Schaan
Auswertungen:	Jürgen Beckbissinger, Acontec AG, Schaan
Bericht:	Jürgen Beckbissinger, Acontec AG, Schaan
Bezug:	Amt für Umwelt Postfach 684 9490 Vaduz www.au.llv.li

1. ZUSAMMENFASSUNG

Seit Mai 2005 wird am Standort «Vaduz Austrasse» und ab 2015 am Standort «Vaduz Landesbibliothek» kontinuierlich Feinstaub (PM10), Stickoxide (NO_x) und Ozon (O₃) gemessen. In der Zeit vom 18. Dezember 2014 bis zum 14. Dezember 2015 wurden ergänzend in Schaanwald Zuschg 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 Schaanwald Zuschg bei 17 µg/m³ und damit 25% unter dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m³. Die durchschnittliche NO₂-Belastung lag bei 26 µg/m³. Der diesbezügliche Grenzwert von 30 µg/m³ wurde damit ebenfalls unterschritten.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ wurde in der 360 Tage dauernden Messkampagne 3 mal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 17. Februar 2015 mit 61 µg/m³ gemessen. Beim NO₂ wurde der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von 80 µg/m³ (max. Tagesmittelwert) mit 73 µg/m³, gemessen am 16. Januar 2015, eingehalten.

10% der PM10-Tagesmittelwerte (0.9-Quantil) lagen in der Zeitperiode vom 18. Dezember 2014 bis zum 14. Dezember 2015 über 27 µg/m³. In Vaduz beträgt das 0.9-Quantil 23 µg/m³. Das 0.5-Quantil (Median) für PM10 lag in Schaanwald Zuschg bei 15 µg/m³ und in Vaduz Landesbibliothek bei 11 µg/m³. Die entsprechenden Werte für NO₂ liegen bei 43 µg/m³ in Schaanwald und 31 µg/m³ in Vaduz (0.9-Quantil) bzw. 24 µg/m³ in Schaanwald und 16 µg/m³ in Vaduz (0.5-Quantil).

Wie bereits an anderen Standorten in den vorangegangenen Jahren konnten auch in Schaanwald Zuschg die PM10-Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden. Damit künftig die PM10- als auch die NO₂-Immissionen gesenkt werden können, sind weiterhin grösste Anstrengungen in verschiedensten Bereichen notwendig. Wie am Beispiel der PM10-Immissionen in Schaanwald gezeigt werden kann, reicht es bei weitem nicht, den Fokus der Reduktionsmassnahmen alleine auf den Strassenverkehr zu setzen. Es sind weiterhin auch Reduktionsmassnahmen in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft, Baugewerbe und den Haushalten (Feuerungen) 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 direkten, negativen, gesundheitlichen Auswirkungen bei übermässigen Stickoxidkonzentrationen, beeinflussen NO als auch NO₂ die Ozonbildung sowie die Entstehung von sekundärem Feinstaub. 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 mobilen 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, Eschen Essanestrasse und Nendeln Engelkreuzung (2014) wurden vom 18. Dezember 2014 bis zum 14. Dezember 2015 in Schaanwald Zuschg kontinuierliche Immissionsmessungen mit einer Kleinmessstation vorgenommen. Obwohl, wie erwähnt, seit 2011 zusätzlich auch noch Stickoxide gemessen werden, liegt der Schwerpunkt der Auswertungen auf den PM10-Immissionsmessungen.

4. GRUNDLAGEN

4.1. MESSSTANDORT

Die Messungen wurden in Schaanwald Zuschg durchgeführt. Der Abstand der Messstation zum Fahrbahnrand betrug ca. 3 m. Die Ansaughöhe lag auf ca. 2.5 m Höhe (vgl. Kartenausschnitt im Anhang II).

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 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 NO_x-Analysator des Typs MLU 200A. Das Messprinzip beruht darauf, dass bei der Oxidation von NO mit Ozon ein elektrisch angeregtes NO₂ Molekül entsteht. Bei der Rückkehr des Moleküls in einen nicht angeregten Zustand wird ein Photon (Licht) abgegeben (Chemilumineszenz). Die Lichtmenge, welche sich proportional zur Konzentration verhält, wird im Messgerät kontinuierlich gemessen. Die Messwerte werden ebenfalls als Halbstundenmittelwerte erfasst.

4.3. MESSDAUER

Die dem vorliegenden Bericht zugrunde gelegten Messdaten wurden in der Zeit vom 18. Dezember 2014 bis 14. Dezember 2015 an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Austrasse erhoben. 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.

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

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 seit 2011 zusätzlich noch parallel mit den Feinstaubmessungen durchgeführten Stickoxidmessungen. In Kapitel 7 werden zudem einige Aspekte dargestellt, welche sich auf die Schadstoffe PM10 und NO_x gleichermaßen beziehen.

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 den insgesamt 357 Messtagen wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von 50 µg/m³ 3 mal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 17. Februar 2015 mit 61 µg/m³ gemessen. Tagesmittel über dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m³ wurden am Standort Schaanwald Zuschg an 85 Tagen (24%) gemessen. Die mittlere Konzentration in der Zeit vom 18. Dezember 2014 bis zum 14. Dezember 2015 lag mit 17 µg/m³ unter dem Immissionsgrenzwert von 20 µg/m³.

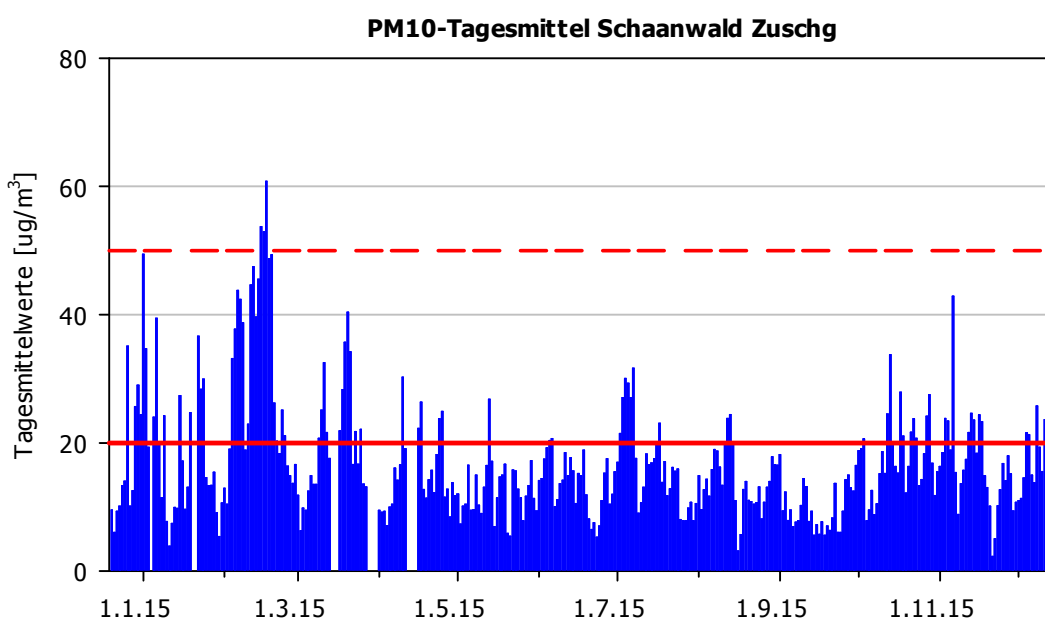


Abbildung 1 Tagesmittelwerte 2015 am Standort Schaanwald Zuschg

Wie aus dem Quantilplot (Abbildung 2) hervorgeht, liegen die Konzentrationen am Standort in Schaanwald durchwegs höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek. Das 0.9-Quantil betrug in Schaanwald 27 µg/m³. Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10% der

Tagesmittelwerte über $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen. In Vaduz lag das 0.9-Quantil bei $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das 0.5-Quantil (Median) lag in Schaanwald bei $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in Vaduz bei $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

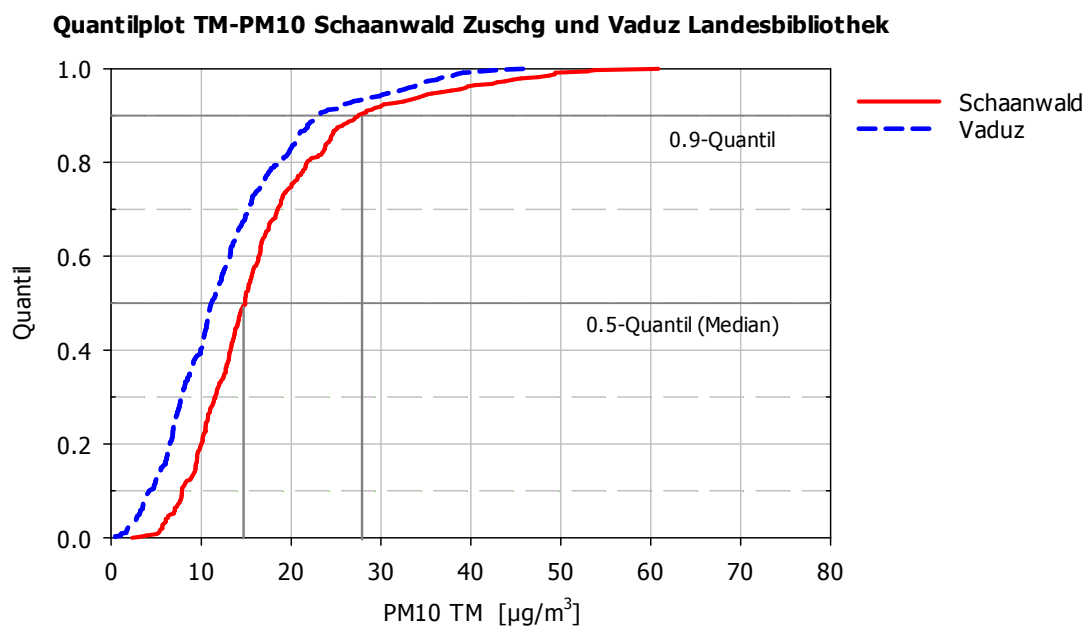


Abbildung 2 Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte 2015 an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek

5.2. KURZZEITBELASTUNGEN

Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 25% der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden während 2.5% der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 3).

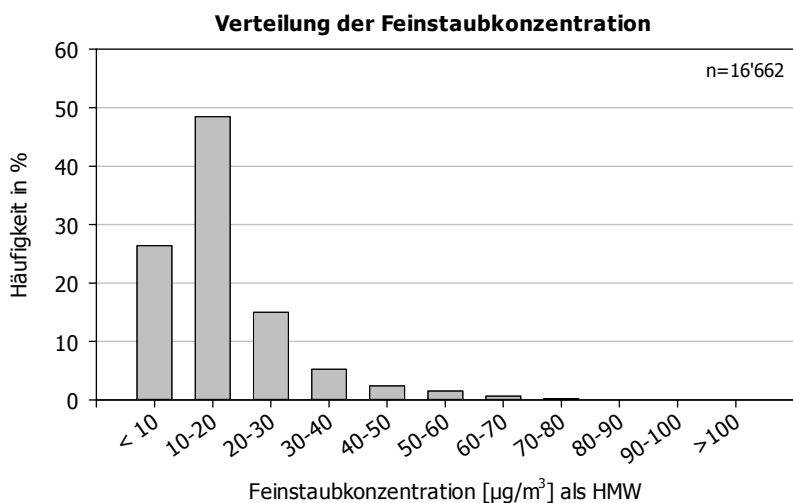


Abbildung 3 Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) im Jahr 2015 am Standort Schaanwald Zuschg

5.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kann mit einem Jahresmittelwert von $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingehalten werden. Hingegen wird mit drei Tagesmittelwerten über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von maximal einer Überschreitung pro Jahr nicht eingehalten. In Abbildung 4 sind die Resultate in Bezug auf die jeweiligen Grenzwerte grafisch dargestellt.

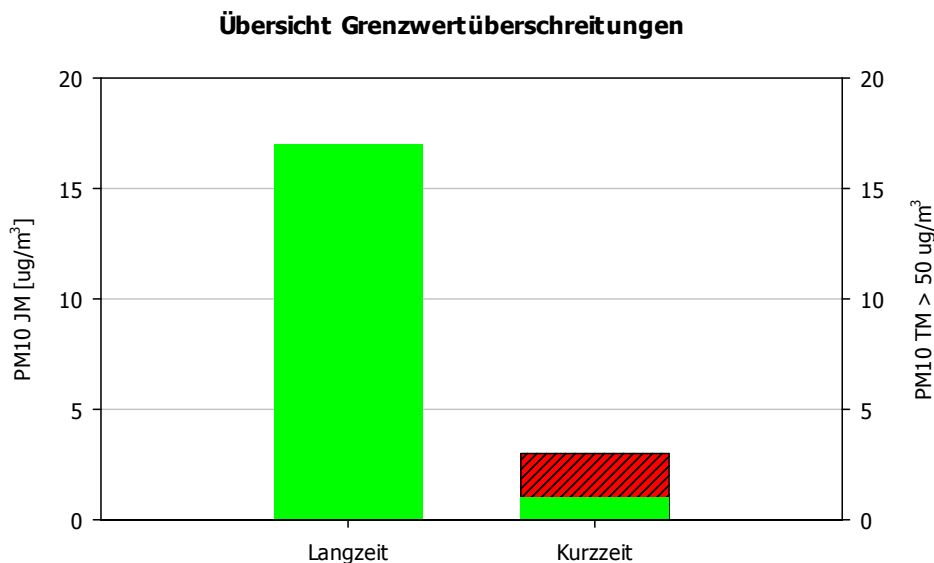


Abbildung 4 Vergleich der gemessenen PM10-Kurz- und -Langzeitmittelwerte am Standort Schaanwald Zuschg mit den geltenden PM10-Immissionsgrenzwerten --> Grün Immissionsgrenzwert bzw. Messwert, rot Überschreitungen

5.4. WOCHENGANG

Der Wochengang der Immissionsbelastung am Standort Schaanwald Zuschg ist dem des Standortes Vaduz Landesbibliothek ähnlich, liegt jedoch auf einem deutlich höheren Niveau. Am Standort Vaduz Landesbibliothek ist von Sonntag bis Freitag ein steter Anstieg der Konzentrationen erkennbar. Am Standort Schaanwald hingegen steigen die Konzentration von Sonntag bis Dienstag an, fallen dann auf Mittwoch wieder etwas ab und steigen dann auf das Wochenmaximum, welches ebenfalls am Freitag erreicht wird (Abbildung 5). Interessanterweise liegen die Konzentrationen im Jahresmittel an Samstagen um 10% höher als an Montagen. Am Standort Vaduz Landesbibliothek beträgt der Unterschied 8%. Am ehemaligen Standort Vaduz Austrasse werden am Donnerstag die höchsten und am Sonntag die durchschnittlich tiefsten Belastungen gemessen. Der Freitag ist am Standort Schaanwald Zuschg um 41% stärker belastet als der durchschnittliche Sonntag. Am Standort Vaduz Austrasse lagen diese Werte bei 35%. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass an beiden Standorten anthropogene¹ Emissionen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten. Die absolute Differenz am Standort Schaanwald Zuschg zwischen der durchschnittlichen Belastung am Freitag und jener am Sonntag liegt bei $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Am Standort Vaduz Landesbibliothek beträgt die Differenz $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

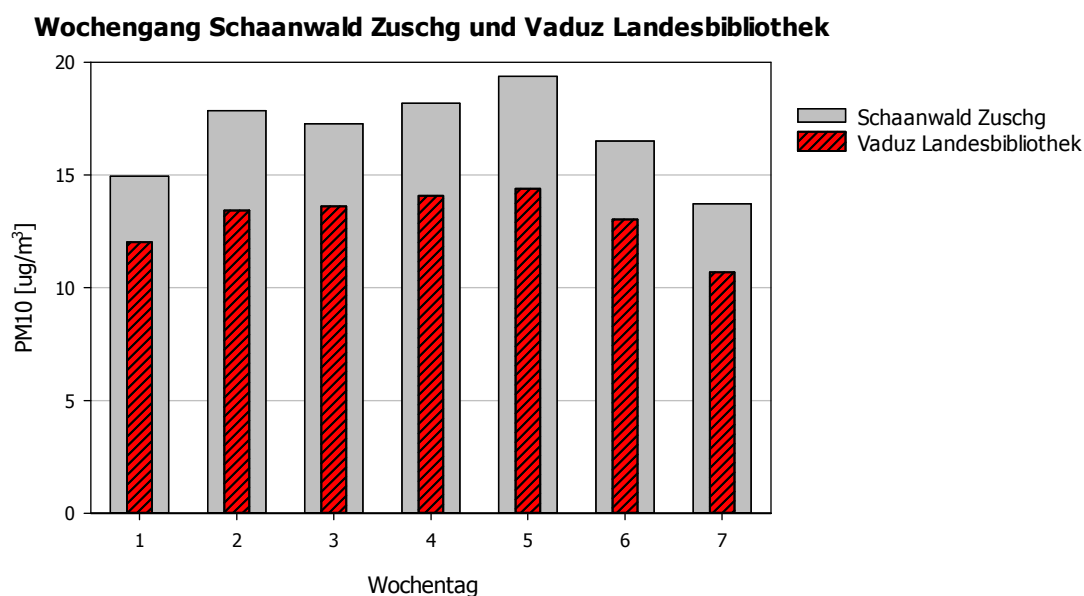


Abbildung 5 Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen (\bar{x} -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2014 bis Dezember 2015) am Standort Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek

¹Anthropogen bedeutet in diesem Zusammenhang vom Menschen verursacht bzw. beeinflusst. Beispielsweise Emissionen aus dem Strassenverkehr oder aus Feuerungen.

5.5. TAGESGANG

Wie aus der Abbildung 6 hervorgeht, schwanken die PM10-Konzentrationen an Werktagen im Mittel in einem Bereich zwischen $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den frühen Morgenstunden und $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den späten Abendstunden. Der Tagesgang ist für einen verkehrsexponierten Standort eher unüblich. Eine Morgenspitze fehlt, stattdessen liegen die Konzentrationen bis gegen die Mittagszeit in einem unüblich engen Bereich zwischen $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Erst danach steigt die Feinstaubbelastung stetig von $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis auf $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Der üblicherweise an strassennahen Standorten messbare Verlauf mit einer Morgen-, einer kleinen Mittags- und einer Abendspitze wird an beiden Standorten nicht festgestellt. Ebenfalls eher unüblich ist die an Samstagen von Mitternacht bis 11 Uhr mittags höhere Belastung als an den Wochentagen. In einer groben Näherung 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 Tätigkeiten, verursacht wird. Zum Vergleich ist in Abbildung 7 der Tagesgang am Ostluft-Messtandort Vaduz Landesbibliothek angeführt.

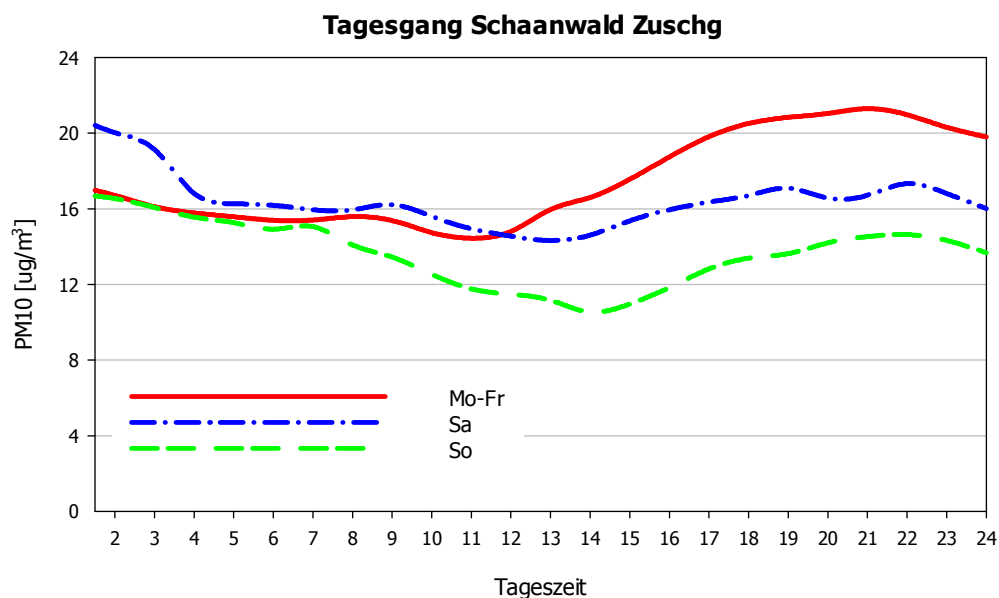


Abbildung 6 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Schaanwald Zuschg (\emptyset -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2014 bis Dezember 2015 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

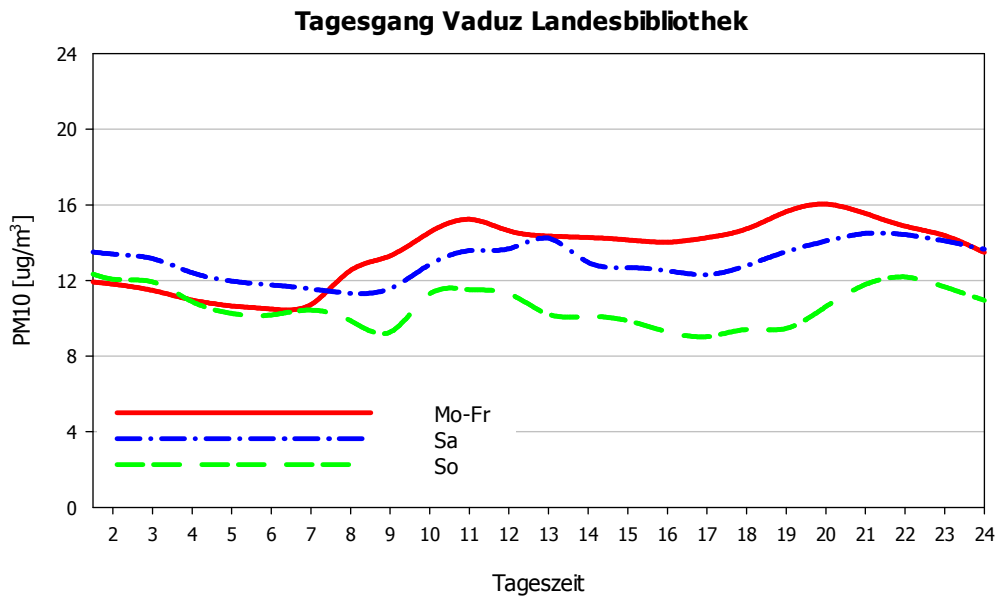


Abbildung 7 Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Landesbibliothek (\bar{x} -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2014 bis Dezember 2015 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

In Abbildung 8 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek aufgeführt. Es fällt auf, dass sich die Belastungen bis morgens um 7 Uhr an Werktagen kaum von jenen an Sonntagen unterscheidet. Mit Beginn des Berufsverkehrs ab 7 Uhr zeigt sich eine deutlich höhere Belastung als an Sonntagen. An der Station Vaduz Landesbibliothek liegt bereits um 9:00 Uhr, also zwei Stunden später, die Feinstaubkonzentration im Durchschnitt um den Faktor 1.4 höher als an Sonntagen. In Schaanwald beträgt dieser Faktor 1.2. Während am Standort Vaduz ab 20:00 Uhr die Belastungsdifferenz deutlich abnimmt, bleibt diese in Schaanwald bis um Mitternacht auf einem Niveau über Faktor 1.4. Erst zwischen 24:00 Uhr und 01:00 Uhr gleichen sich dann an beiden Standorten die Belastungen an Werktagen und Sonntagen wieder an. Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass je höher der Quotient, desto stärker ist der lokale anthropogene Anteil an der Gesamtbelastung am jeweiligen Standort.

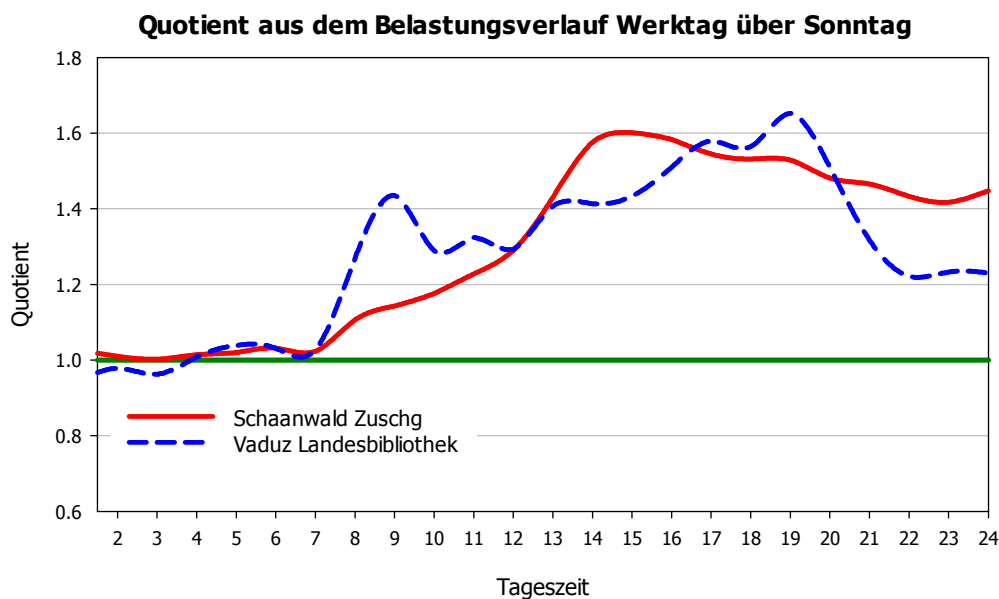


Abbildung 8 Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2014 bis Dezember 2015). Lesebeispiel: Am Standort Schaanwald Zuschg sind die mittleren PM10-Konzentrationen nachmittags um 15:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.6 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit (15:00 Uhr). Der Wert 1 (dunkelgrüne Linie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

5.6. KORRELATION MIT MESSWERTEN ANDERER STANDORTE

Die Tagesmittelwerte der Messungen am Standort Schaanwald Zuschg korrelieren nur mäßig ($r^2 = 0.73$) mit jenen an der Ostluft-Messstation Vaduz Landesbibliothek² (vgl. Abbildung 9). Lediglich an 54 der 331 Messtage, an denen Messwerte beider Stationen vorliegen, wurden in Vaduz Landesbibliothek höhere Tagesmittelwerte als am Standort Schaanwald Zuschg registriert. 42 dieser 54 Tage fielen in das Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober). Damit wurden im Winterhalbjahr in Vaduz an nur 12 Tagen höhere Immissionsbelastungen registriert als am Standort Schaanwald Zuschg. Im Durchschnitt waren die PM10-Belastungen bei Konzentrationen im Bereich des Jahresmittelgrenzwertes von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Schaanwald um 17% höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek³ (vgl. Abbildung 10).

² Zum Vergleich: die Konzentrationen am Standort Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Austrasse korrelierten im Messjahr 2013 mit einem r^2 von 9.1 deutlich besser.

³ Die lineare Ausgleichsfunktion lautet $y = 0.94x + 4.5$

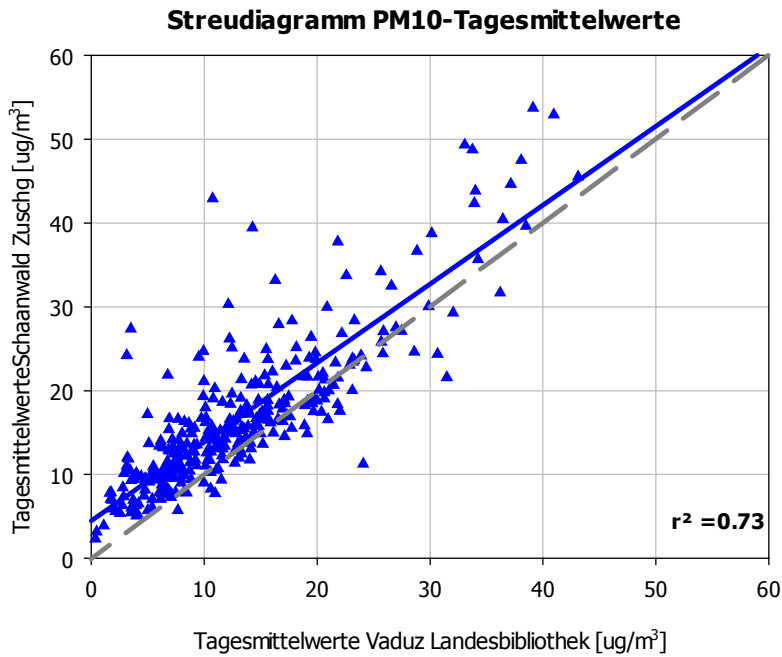


Abbildung 9 Streudiagramm der PM10-Tagesmittelwerte Schaanwald Zuschg und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2014 bis Dezember 2015)

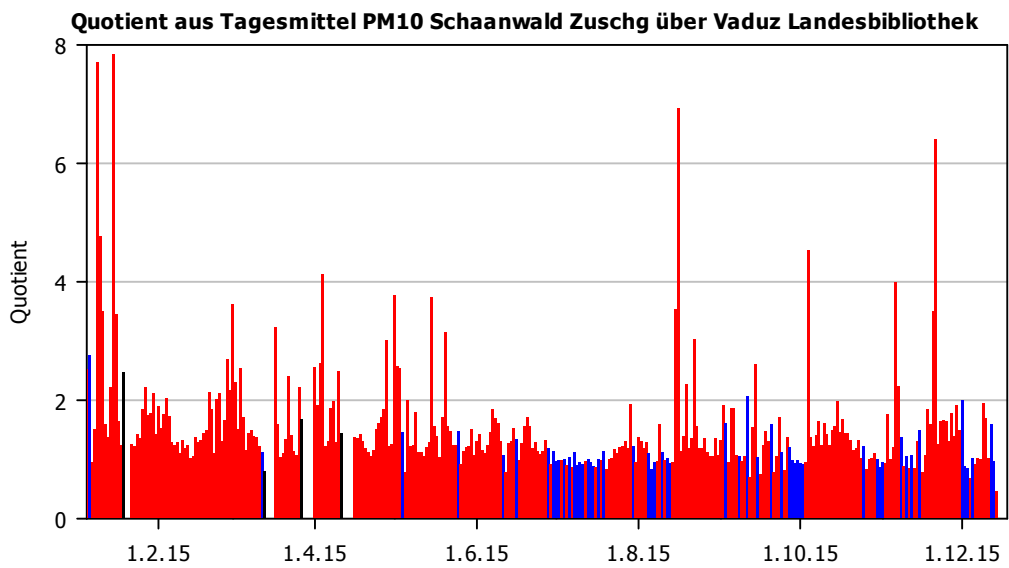


Abbildung 10 Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Schaanwald Zuschg über Vaduz Landesbibliothek vom Dezember 2014 bis Dezember 2015. Rote Balken → Belastung am Standort Schaanwald Zuschg ist höher als in Vaduz; blaue Balken → Die Belastung bei der Landesbibliothek in Vaduz war höher als in Schaanwald. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 6 lag die PM10-Belastung am Standort Schaanwald Zuschg um den Faktor 6 höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek

6. RESULTATE STICKOXIDE

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, liegt der Schwerpunkt der Messungen als auch der Auswertungen beim Feinstaub. 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. Zum Vergleich sind zusätzlich die jeweiligen Resultate der Messstation Vaduz dargestellt. In Schaanwald Zuschg wurde im Messjahr 2015 mit einem Jahresmittelwert von $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Immissionsgrenzwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingehalten. Auch in Vaduz bei der Landesbibliothek wurde der LRV-Grenzwert für Stickstoffdioxid mit einem Jahresmittel von $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich eingehalten. Mit einer Differenz im Jahresmittel von $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was 44% entspricht, ist ein deutlicher Unterschied der Belastung zwischen den beiden Standorten festzustellen. Auch die NO-Belastung lag im Jahresdurchschnitt in Schaanwald deutlich über jener welche am Standort bei der Landesbibliothek in Vaduz gemessen wurde.

Tabelle 1 Übersicht der relevanten NO₂-Messergebnisse und Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Standort	JMW	95%-Perzentil	Max. TMW	Tage >80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Tage]
Schaanwald Guschg	27	53	74	0
Vaduz Landesbibliothek ¹⁾	19	53	77	0
Immissionsgrenzwert	30	100	-	1

¹⁾ Quelle: Jahresbericht Ostluft

Tabelle 2 Übersicht der relevanten NO und NO_x-Messergebnisse

Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	NO _x [ppb]	NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	NO _x [ppb]	NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Schaanwald Zuschg	27	15	92	67
Vaduz Landesbibliothek ¹⁾	17	8	97	74

¹⁾ Quelle: Datenbank Ostluft

Der Vergleich der NO₂-Tagesmittelwerte des Standortes Schaanwald Zuschg mit Vaduz Landesbibliothek zeigt sehr deutlich, dass die Belastung in Schaanwald an deutlich mehr Tagen höhergewesen ist. Die Belastungen an den beiden Standorten korrelieren, im Vergleich zu früheren Jahren, wo die Ostluftmessstation noch stärker vom Strassenverkehr beeinflusst wurde, deutlich schlechter. Dem Verlauf der Ausgleichsgeraden⁴ in der Abbildung 11 kann entnommen werden, dass der Konzentrationsunterschied zwischen den beiden Standorten

⁴ Die lineare Ausgleichsfunktion lautet: $0.69x+13.0$

im Bereich des Immissionsgrenzwertes bei ca. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt. An einzelnen Tagen ist der Unterschied der jedoch Belastung sehr hoch. So wurde beispielsweise am 16. Januar 2015 in Schaanwald ein Tagesmittelwert von $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert, was gleichzeitig auch der höchsten Belastung im Messjahr entspricht, während an der Austrasse hingegen lediglich $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen wurde. Die Ursache dafür vermuten wir in einer nur im Unterland herrschenden bodennahen Inversionslage, welche nicht bis ins Oberland reichte.

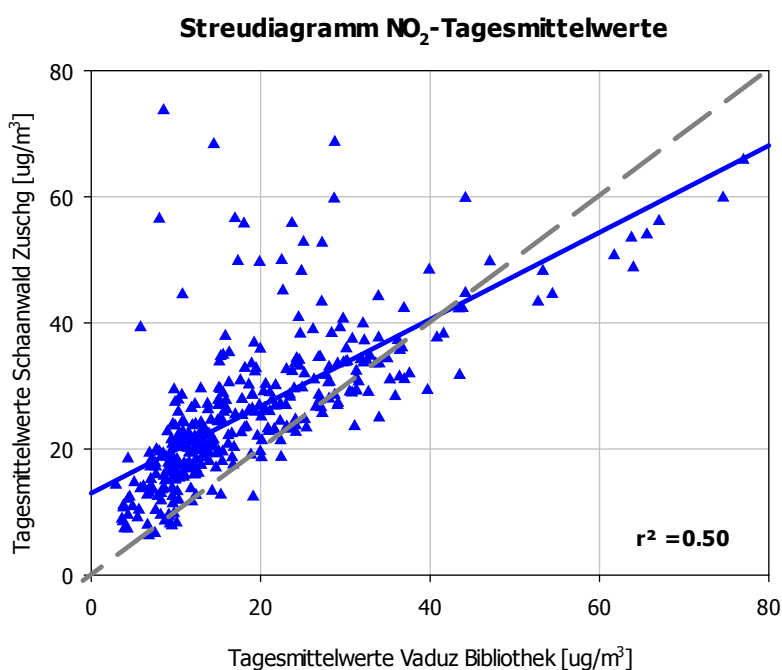


Abbildung 11 Streudiagramm der NO₂-Tagesmittelwerte Schaanwald Zuschg und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Landesbibliothek (Dezember 2014 bis Dezember 2015).

Der Verlauf der NO₂-Tagesmittelwerte kann der Abbildung 12 entnommen werden. Wie erwähnt lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

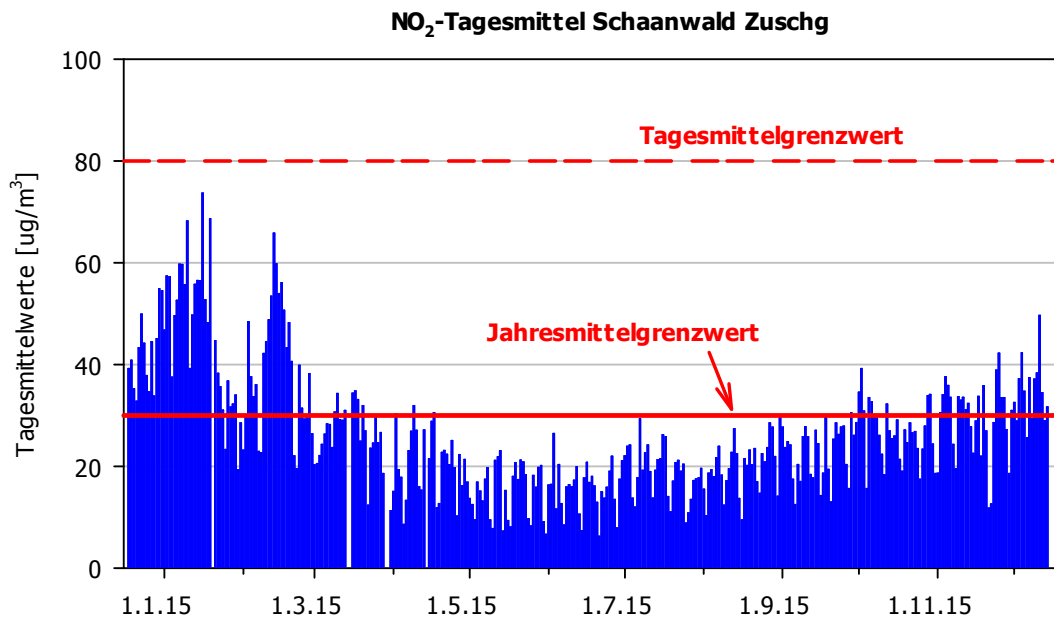


Abbildung 12 NO₂-Tagesmittelwerte 2015 am Standort Schaanwald Zuschg

Der mittlere Tagesgang der NO₂-Belastung unterliegt an beiden Standorten deutlichen Schwankungen (vgl. Abbildung 13). Am ausgeprägtesten sind diese an Werktagen. Am Standort Schaanwald Zuschg sind diese höher als am Standort Vaduz Landesbibliothek. Die NO₂-Belastung steigt in Schaanwald im Durchschnitt von 04:00 Uhr morgens bis 08:00 Uhr um über 200% Prozent von 13 µg/m³ auf 40 µg/m³ an. Am Sonntag, mit allgemein weniger Strassenverkehr, bleibt dieser morgendliche Anstieg beinahe gänzlich aus. Somit kann der Hauptanteil dieses werktäglichen Anstieges dem Strassenverkehr zugeordnet werden. Da der Standort Vaduz Landesbibliothek deutlich weniger stark verkehrsexponiert ist, sind auch die täglichen Konzentrationsschwankungen an diesem Standort geringer ausgeprägt als am Standort in Schaanwald.

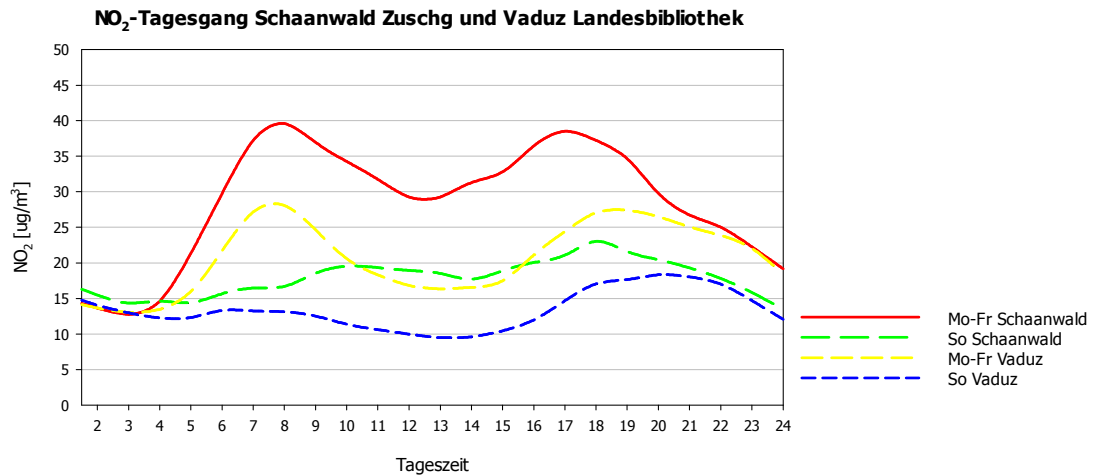


Abbildung 13 Mittlerer Tagesgang der NO₂-Belastung an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2014 bis Dezember 2015 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

Die relativen Schwankungen der Tagesgänge zwischen Sonntagen und Werktagen sind, wie Abbildung 14 dargestellt, an beiden Standorten ähnlich. So werden beispielsweise in den Morgenstunden, zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr, an den Werktagen um den Faktor 2.2 bzw. 2.4 höhere Konzentrationen gemessen als es an Sonntagen der Fall ist. Am Standort Nendeln Engelkreuzung lag dieser Faktor, gemessen im 2014, bei deutlich höheren 4.2. Daraus kann die Vermutung abgeleitet werden, dass die NO₂-Belastung am Standort Nendeln Engelkreuzung deutlich stärker vom Strassenverkehr beeinflusst ist, als es am Standort in Schaanwald der Fall ist. Um jedoch gesicherte Aussagen darüber machen zu können, müssten die Messdaten der Jahre 2014 und 2015, als auch die entsprechenden Daten der automatischen Verkehrszählungen, detaillierter ausgewertet werden. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch der Vergleich mit der Situation beim Feinstaub. Die maximale werktägliche PM₁₀-Belastung (Freitag) liegt in Schaanwald Zuschg um den Faktor 1.4 höher als an Sonntagen und damit im Vergleich zum Faktor 2.2 beim NO₂, auf einem deutlich tieferen Niveau. Verglichen mit der Situation an der Engelkreuzung ist der Unterschied im Wochenverlauf der NO₂- und der PM₁₀-Belastung jedoch deutlich geringer. Im 2014 wurde in Nendeln beim NO₂ der erwähnte Faktor 4.2, beim PM₁₀ ein Faktor von 1.4 gemessen. Diese Resultate zeigen deutlich, dass zur Reduktion der PM₁₀-Belastung nicht in erster Linie verkehrstechnische, sondern Minderungsmaßnahmen anderer Quellen umzusetzen sind. Zur Reduktion der NO₂-Belastung sollten jedoch insbesondere verkehrstechnische Massnahmen in Betracht gezogen werden.

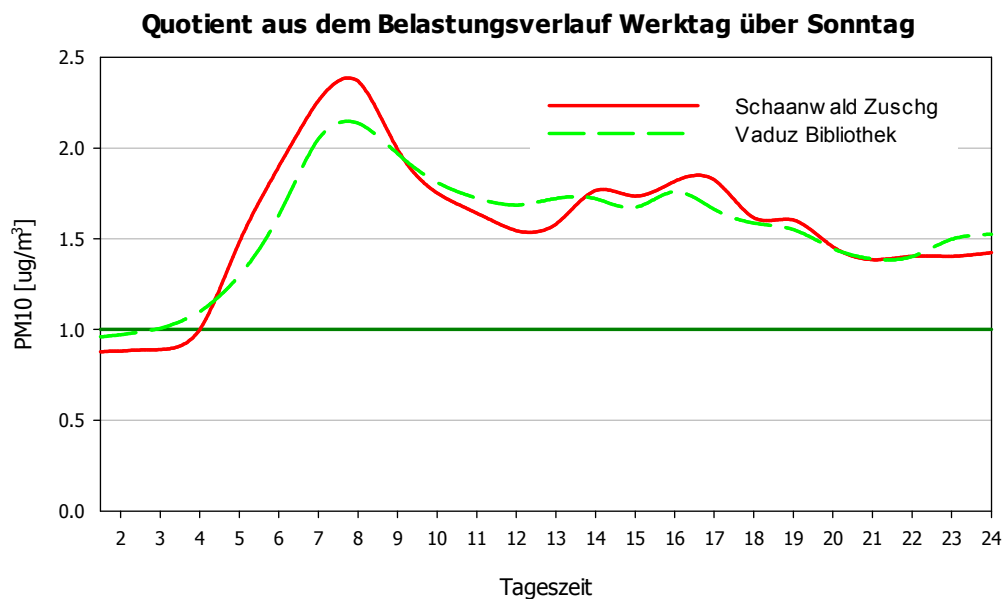


Abbildung 14 Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Stickstoffdioxidbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek (Messwerte Dezember 2014 bis Dezember 2015). Lesebeispiel: Am Standort Schaanwald Zuschg sind die mittleren NO_2 -Konzentrationen morgens zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr an Werktagen 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 15 ist der durchschnittliche Wochengang der NO_2 -Belastung an den Standorten Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek dargestellt. In Schaanwald werden die höchsten Belastungen an den Werktagen mit einem Maximum am Freitag gemessen. In Vaduz bei der Landesbibliothek ist der Dienstag der am stärksten belastete Tag, wobei an beiden Standorten die Unterschiede an den Werktagen vergleichsweise gering sind. Wie auch bei der PM_{10} -Konzentration werden am Sonntag die eindeutig geringsten Belastungen registriert. Am Standort Schaanwald Zuschg lag die durchschnittliche NO_2 -Konzentration an Freitagen um 67% über der durchschnittlichen Belastung an Sonntagen. Am Standort Vaduz Landesbibliothek liegt der Unterschied bei vergleichbaren 56%. Im Jahr zuvor lag dieser Wert, gemessen am Standort Nendeln Engelkreuzung, bei deutlich höheren 123%. Der Verlauf, mit höheren Konzentrationen an den Werktagen und niedrigsten Belastungen am Sonntag, ist bei beinahe allen Standorte in besiedelten Gebieten feststellbar.

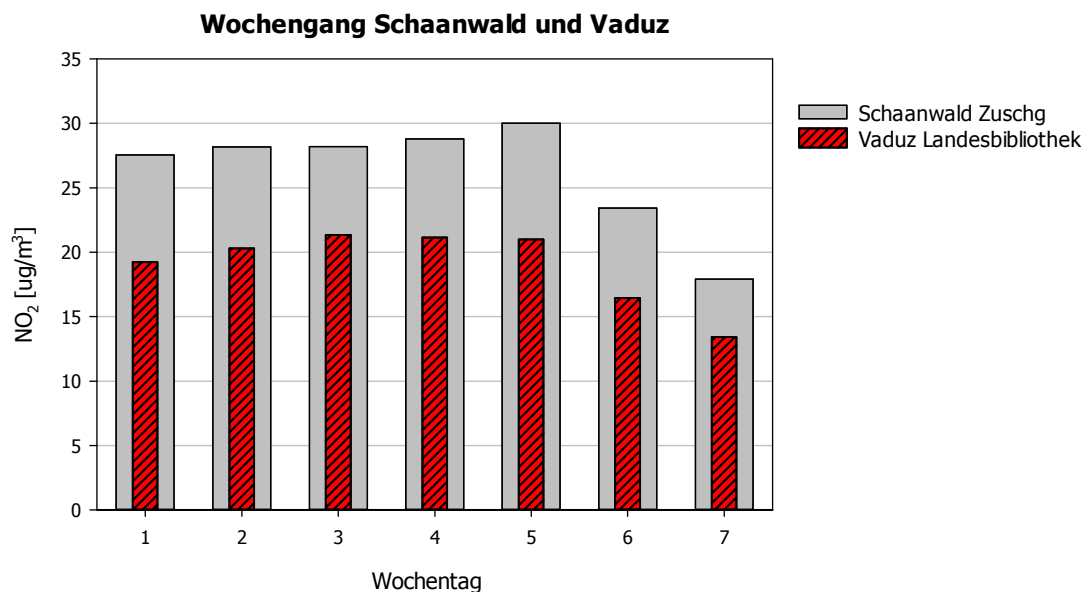


Abbildung 15 Mittlere NO₂-Belastung an den Wochentagen (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2014 bis Dezember 2015) am Standort Schaanwald Zuschg und Vaduz Landesbibliothek

7. ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN FÜR PM₁₀ UND NO_x

Wie eingangs des Berichtes erwähnt, wurden im 2011 erstmals parallel zu den Feinstaubmessungen in der Kleinmessstation auch kontinuierliche Stickoxid-Messungen durchgeführt. Würde die Belastung der beiden Schadstoffe gut korrelieren, wäre es möglich, aus der Feinstaubbelastung die NO₂-Belastung oder umgekehrt aus der NO₂-Belastung die Feinstaubkonzentration abzuleiten. Damit könnte auf die Messung eines der beiden Parameter verzichtet werden. Aus der Abbildung 16 ist ersichtlich, dass es aufgrund der schwachen Korrelation nicht möglich ist, mit einer genügenden Genauigkeit aus der Konzentration des einen Schadstoffes die Konzentration des anderen Schadstoffes abzuleiten. Werden nur die Messungen im Sommerhalbjahr verglichen, so zeigt sich eine noch schwächere Korrelation zwischen der Feinstaub- und NO₂-Konzentration (vgl. Abbildung 17).

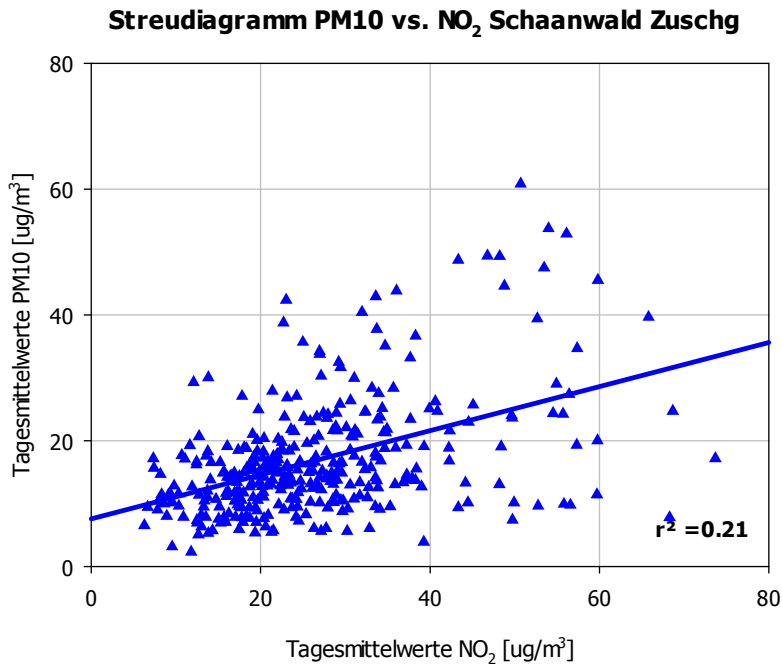


Abbildung 16 Streudiagramm der NO₂- und PM10 Tagesmittelwerte Schaanwald Zuschg (Dezember 2014 bis Dezember 2015).

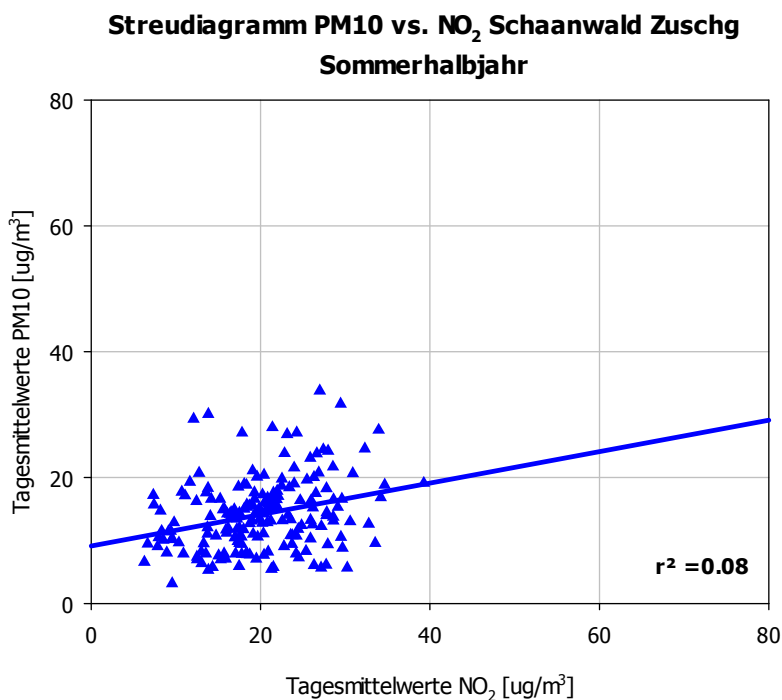


Abbildung 17 Streudiagramm der NO₂- und PM10 Tagesmittelwerte Schaanwald Zuschg im Sommerhalbjahr 2015 (Mai 2015 bis Oktober 2015).

Aus der Abbildung 18 ist ersichtlich, dass der Tagesgang der NO₂-Emissionen deutlich größeren Schwankungen unterliegt es beim PM10 festzustellen ist. Die Ursache dafür ist, dass der regionale und insbesondere lokale anthropogene Einfluss auf die NO₂-Konzentration

sich deutlich stärker zeigt als beim PM10. Mit anderen Worten, der vom Menschen verursachte lokale Anteil der PM10-Belastung ist am Standort Schaanwald Zuschg deutlich niedriger als der Anteil an der NO₂-Belastung. Der relative Verlauf des Tagesganges schwankt beim NO₂ in einem Bereich von Faktor 0.42 bis 1.33, beim PM10 sind es lediglich 0.48 bis 0.72.

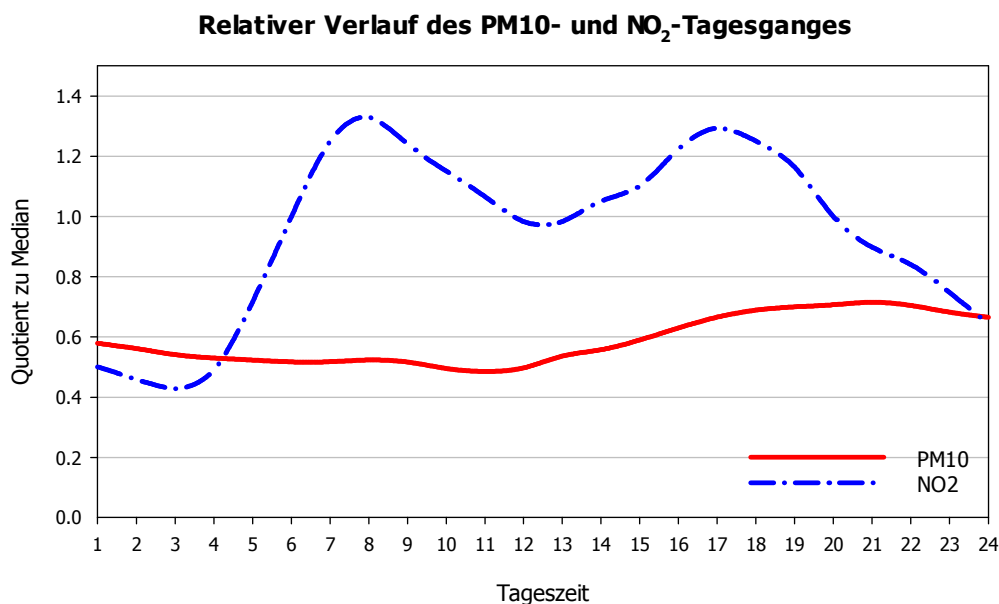


Abbildung 18 Quotient aus dem Median⁵ der durchschnittlichen Stundenkonzentration der Feinstaub- und NO₂-Konzentration an Werktagen (Messwerte Dezember 2014 bis Dezember 2015). Lesebeispiel: Um 8:00 Uhr morgens sind die NO₂-Konzentrationen im Durchschnitt um den Faktor 1.36 höher als der Median aller durchschnittlichen Stundenkonzentrationen. Der Wert 1 bedeutet, dass die Belastung in dieser Stunde dem Median entspricht.

⁵ Der Median oder auch Zentralwert genannt, ist eine statistische Grösse. Der Median einer nach Grösse sortierten Auflistung von Zahlen entspricht dem Wert in der Mitte der Liste.

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO ₂
18.12.2014	---	39
19.12.2014	25	41
20.12.2014	10	35
21.12.2014	6	33
22.12.2014	9	43
23.12.2014	10	50
24.12.2014	13	44
25.12.2014	14	38
26.12.2014	35	35
27.12.2014	10	44
28.12.2014	13	34
29.12.2014	26	45
30.12.2014	29	55
31.12.2014	24	55
01.01.2015	49	47
02.01.2015	35	57
03.01.2015	19	57
04.01.2015	---	38
05.01.2015	24	50
06.01.2015	39	53
07.01.2015	20	60
08.01.2015	11	60
09.01.2015	24	56
10.01.2015	8	68
11.01.2015	4	39
12.01.2015	7	50
13.01.2015	10	56
14.01.2015	10	57
15.01.2015	27	56
16.01.2015	17	74
17.01.2015	10	53
18.01.2015	13	48
19.01.2015	25	69
20.01.2015	---	---
21.01.2015	---	---
22.01.2015	37	38
23.01.2015	28	36
24.01.2015	30	31
25.01.2015	15	23
26.01.2015	13	37
27.01.2015	13	32
28.01.2015	15	32

Datum	PM10	NO ₂
29.01.2015	9	34
30.01.2015	5	19
31.01.2015	11	29
01.02.2015	13	23
02.02.2015	10	30
03.02.2015	19	48
04.02.2015	33	38
05.02.2015	38	34
06.02.2015	44	36
07.02.2015	42	23
08.02.2015	39	23
09.02.2015	19	42
10.02.2015	23	45
11.02.2015	45	49
12.02.2015	47	53
13.02.2015	40	66
14.02.2015	46	60
15.02.2015	54	54
16.02.2015	53	56
17.02.2015	61	51
18.02.2015	49	43
19.02.2015	49	48
20.02.2015	26	41
21.02.2015	20	22
22.02.2015	18	20
23.02.2015	25	40
24.02.2015	21	31
25.02.2015	16	29
26.02.2015	15	30
27.02.2015	14	38
28.02.2015	17	26
01.03.2015	12	20
02.03.2015	6	21
03.03.2015	10	22
04.03.2015	10	24
05.03.2015	12	26
06.03.2015	15	28
07.03.2015	14	28
08.03.2015	14	24
09.03.2015	21	31
10.03.2015	25	34
11.03.2015	33	29

Datum	PM10	NO ₂
12.03.2015	22	29
13.03.2015	18	31
14.03.2015	---	---
15.03.2015	---	---
16.03.2015	---	---
17.03.2015	22	35
18.03.2015	28	33
19.03.2015	36	25
20.03.2015	40	32
21.03.2015	34	27
22.03.2015	17	12
23.03.2015	22	24
24.03.2015	17	25
25.03.2015	22	30
26.03.2015	14	25
27.03.2015	13	27
28.03.2015	---	---
29.03.2015	---	---
30.03.2015	---	---
31.03.2015	---	---
01.04.2015	10	15
02.04.2015	9	30
03.04.2015	9	19
04.04.2015	7	18
05.04.2015	10	9
06.04.2015	10	13
07.04.2015	16	23
08.04.2015	14	27
09.04.2015	17	32
10.04.2015	30	27
11.04.2015	19	16
12.04.2015	---	15
13.04.2015	---	---
14.04.2015	---	---
15.04.2015	---	---
16.04.2015	22	29
17.04.2015	26	31
18.04.2015	13	12
19.04.2015	11	13
20.04.2015	14	23
21.04.2015	16	23
22.04.2015	12	22

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO ₂
23.04.2015	18	20
24.04.2015	24	25
25.04.2015	25	20
26.04.2015	12	10
27.04.2015	13	22
28.04.2015	8	16
29.04.2015	14	21
30.04.2015	12	17
01.05.2015	12	14
02.05.2015	7	12
03.05.2015	10	10
04.05.2015	10	17
05.05.2015	17	15
06.05.2015	10	13
07.05.2015	10	18
08.05.2015	15	20
09.05.2015	10	10
10.05.2015	9	8
11.05.2015	13	21
12.05.2015	17	22
13.05.2015	27	23
14.05.2015	17	7
15.05.2015	7	15
16.05.2015	11	9
17.05.2015	15	8
18.05.2015	15	18
19.05.2015	17	21
20.05.2015	6	17
21.05.2015	5	21
22.05.2015	16	21
23.05.2015	16	18
24.05.2015	13	10
25.05.2015	11	8
26.05.2015	8	18
27.05.2015	12	16
28.05.2015	13	20
29.05.2015	17	20
30.05.2015	11	9
31.05.2015	9	7
01.06.2015	14	16
02.06.2015	14	17
03.06.2015	17	26

Datum	PM10	NO ₂
04.06.2015	19	12
05.06.2015	20	20
06.06.2015	21	13
07.06.2015	10	8
08.06.2015	11	16
09.06.2015	14	16
10.06.2015	14	16
11.06.2015	18	17
12.06.2015	15	20
13.06.2015	18	11
14.06.2015	16	7
15.06.2015	11	18
16.06.2015	15	21
17.06.2015	15	17
18.06.2015	19	18
19.06.2015	12	16
20.06.2015	8	13
21.06.2015	7	6
22.06.2015	8	15
23.06.2015	5	14
24.06.2015	7	16
25.06.2015	11	19
26.06.2015	15	22
27.06.2015	18	14
28.06.2015	10	8
29.06.2015	12	17
30.06.2015	15	21
01.07.2015	17	22
02.07.2015	22	24
03.07.2015	27	24
04.07.2015	30	14
05.07.2015	29	12
06.07.2015	27	18
07.07.2015	32	29
08.07.2015	18	19
09.07.2015	9	23
10.07.2015	11	24
11.07.2015	13	19
12.07.2015	18	14
13.07.2015	17	19
14.07.2015	17	21
15.07.2015	18	22

Datum	PM10	NO ₂
16.07.2015	20	26
17.07.2015	23	26
18.07.2015	14	14
19.07.2015	17	11
20.07.2015	12	17
21.07.2015	13	21
22.07.2015	16	21
23.07.2015	16	19
24.07.2015	16	20
25.07.2015	8	9
26.07.2015	8	11
27.07.2015	8	14
28.07.2015	10	17
29.07.2015	11	18
30.07.2015	8	18
31.07.2015	11	20
01.08.2015	15	16
02.08.2015	10	10
03.08.2015	13	19
04.08.2015	14	19
05.08.2015	12	18
06.08.2015	16	22
07.08.2015	19	24
08.08.2015	19	18
09.08.2015	16	12
10.08.2015	13	17
11.08.2015	20	20
12.08.2015	24	23
13.08.2015	24	27
14.08.2015	20	22
15.08.2015	11	14
16.08.2015	3	10
17.08.2015	6	22
18.08.2015	13	20
19.08.2015	14	23
20.08.2015	11	20
21.08.2015	11	24
22.08.2015	10	17
23.08.2015	11	15
24.08.2015	13	23
25.08.2015	8	21
26.08.2015	11	24

ANHANG I

PM10- und NO₂-Tagesmittelwerte

Datum	PM10	NO ₂
27.08.2015	13	29
28.08.2015	14	28
29.08.2015	18	22
30.08.2015	17	14
31.08.2015	17	30
01.09.2015	18	28
02.09.2015	9	24
03.09.2015	12	25
04.09.2015	8	24
05.09.2015	10	18
06.09.2015	7	12
07.09.2015	8	20
08.09.2015	8	17
09.09.2015	10	26
10.09.2015	14	28
11.09.2015	13	26
12.09.2015	8	18
13.09.2015	9	18
14.09.2015	6	27
15.09.2015	7	24
16.09.2015	6	14
17.09.2015	8	19
18.09.2015	6	30
19.09.2015	7	19
20.09.2015	6	13
21.09.2015	8	25
22.09.2015	14	29
23.09.2015	6	26
24.09.2015	6	28
25.09.2015	9	28
26.09.2015	14	20
27.09.2015	15	16
28.09.2015	13	31
29.09.2015	12	26
30.09.2015	16	29
01.10.2015	19	35
02.10.2015	19	39

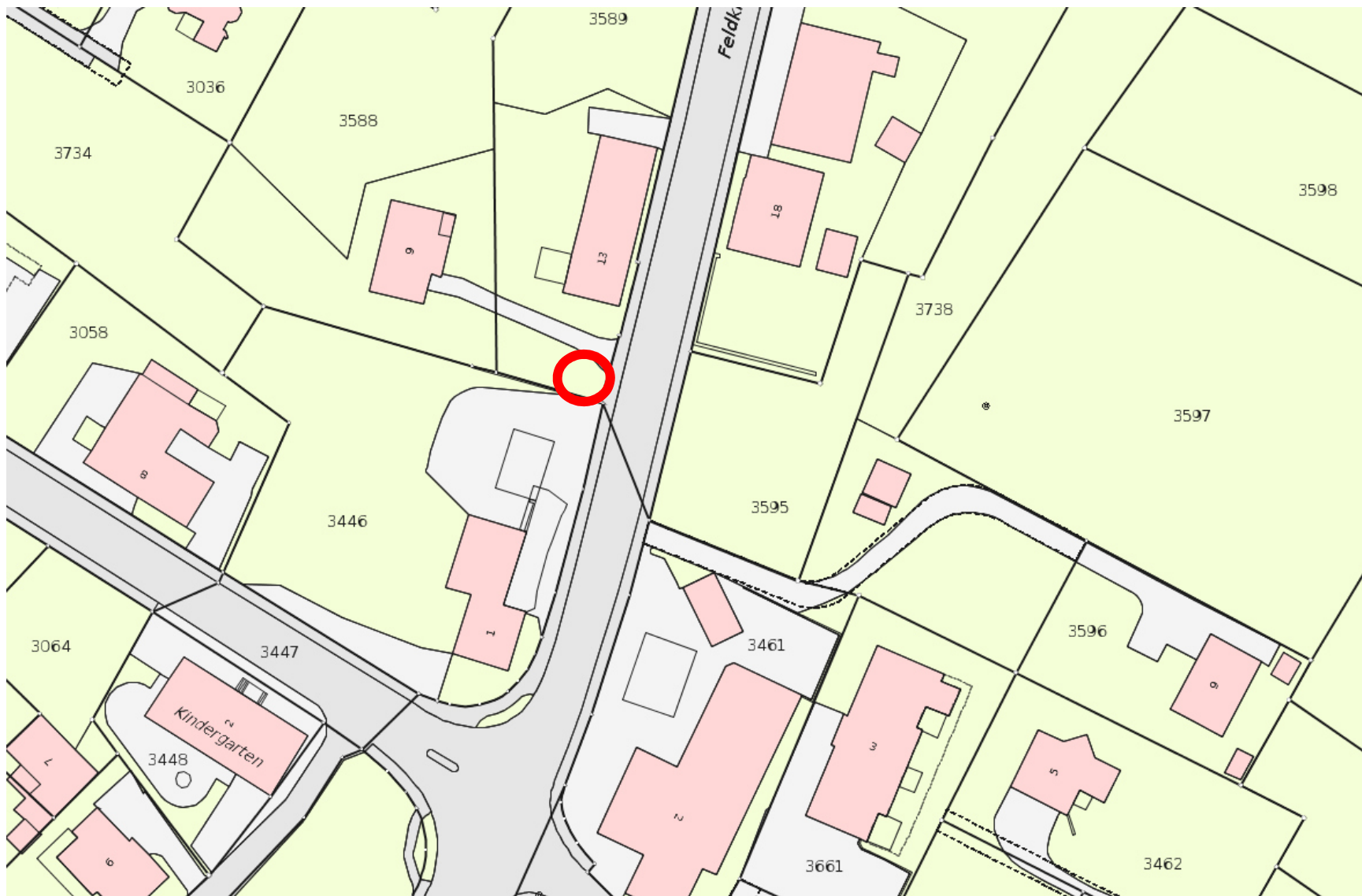
Datum	PM10	NO ₂
03.10.2015	21	31
04.10.2015	8	16
05.10.2015	10	34
06.10.2015	13	33
07.10.2015	9	30
08.10.2015	11	29
09.10.2015	15	26
10.10.2015	19	22
11.10.2015	15	18
12.10.2015	25	32
13.10.2015	34	27
14.10.2015	20	25
15.10.2015	16	26
16.10.2015	15	29
17.10.2015	28	21
18.10.2015	21	19
19.10.2015	12	27
20.10.2015	16	25
21.10.2015	22	29
22.10.2015	24	27
23.10.2015	21	27
24.10.2015	13	24
25.10.2015	14	17
26.10.2015	18	23
27.10.2015	24	28
28.10.2015	28	34
29.10.2015	17	34
30.10.2015	12	24
31.10.2015	16	19
01.11.2015	16	19
02.11.2015	19	31
03.11.2015	24	34
04.11.2015	23	38
05.11.2015	19	36
06.11.2015	43	34
07.11.2015	15	24
08.11.2015	9	20

Datum	PM10	NO ₂
09.11.2015	14	34
10.11.2015	16	33
11.11.2015	17	34
12.11.2015	22	31
13.11.2015	25	32
14.11.2015	24	28
15.11.2015	18	23
16.11.2015	24	29
17.11.2015	23	34
18.11.2015	15	---
19.11.2015	13	---
20.11.2015	10	27
21.11.2015	2	12
22.11.2015	5	13
23.11.2015	10	29
24.11.2015	13	39
25.11.2015	17	42
26.11.2015	14	34
27.11.2015	18	34
28.11.2015	15	27
29.11.2015	9	19
30.11.2015	11	31
01.12.2015	11	33
02.12.2015	11	29
03.12.2015	15	37
04.12.2015	22	42
05.12.2015	21	35
06.12.2015	15	26
07.12.2015	14	37
08.12.2015	26	29
09.12.2015	19	37
10.12.2015	16	38
11.12.2015	24	50
12.12.2015	21	35
13.12.2015	14	29
14.12.2015	11	---

grau hinterlegt = Überschreitung des Immissionsgrenzwertes

--- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert

ANHANG II



Aus Geodatenportal Ilv.li

ANHANG II

