

AMT FÜR UMWELT FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# **FEINSTAUB- UND STICKOXIDMESSUNGEN IN LIECHTENSTEIN**

MESSBERICHT DER MESSUNGEN DES JAHRES 2014 AM STANDORT NENDELN  
ENGELKREUZUNG

SCHAAN, DEZEMBER 2015 / JÜRGEN BECKBISSINGER

Bericht\_Nendeln\_2014\_A / 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 <sub>x</sub>	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 <a href="http://www.au.llv.li">www.au.llv.li</a>

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Seit Mai 2005 wird am Standort „Vaduz Austrasse“ kontinuierlich Feinstaub (PM10), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) gemessen. In der Zeit vom 18. Dezember 2013 bis zum 17. Dezember 2014 wurden ergänzend in Nendeln an der Engelkreuzung mit einer mobilen Kleinmessstation kontinuierlich PM10- und NO<sub>x</sub>-Immissionsmessungen durchgeführt. Im vorliegenden Bericht werden die Messresultate der erwähnten Zeitperiode dargestellt.

Die durchschnittliche PM10-Belastung während der Messperiode (Jahresmittelwert) lag am Standort Nendeln Engelkreuzung bei 16 µg/m<sup>3</sup> und damit 20% unter dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>. Die durchschnittliche NO<sub>2</sub>-Belastung lag bei 26 µg/m<sup>3</sup>. Der diesbezügliche Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> wurde damit ebenfalls unterschritten.

Der PM10-Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde in der 363 Tage dauernden Messkampagne 3 mal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 22. Mai 2014 mit 63 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Beim NO<sub>2</sub> wurde der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup> (max. Tagesmittelwert) mit 64 µg/m<sup>3</sup>, gemessen am 18. Dezember 2012, eingehalten.

10% der PM10-Tagesmittelwerte (0.9-Quantil) lagen in der Zeitperiode vom 18. Dezember 2013 bis zum 17. Dezember 2014 bei 24 µg/m<sup>3</sup>. In Vaduz beträgt das 0.9-Quantil 21 µg/m<sup>3</sup>. Das 0.5-Quantil (Median) für PM10 lag in Nendeln an der Engelkreuzung bei 14 µg/m<sup>3</sup> und in Vaduz Austrasse bei 12 µg/m<sup>3</sup>. Die entsprechenden Werte für NO<sub>2</sub> liegen bei 54 µg/m<sup>3</sup> in Schaan und 38 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz (0.9-Quantil) bzw. 22 µg/m<sup>3</sup> in Schaan und 15 µg/m<sup>3</sup> in Vaduz (0.5-Quantil).

Wie bereits an anderen Standorten in den Jahren zuvor, konnten auch in Nendeln an der Engelkreuzung die PM10-Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden. Damit künftig die PM10- als auch die NO<sub>2</sub>-Immissionen gesenkt werden, sind weiterhin massive Anstrengungen in verschiedensten Bereichen notwendig. Wie am Beispiel der PM10-Immissionen in Nendeln gezeigt werden konnte, reicht es bei weitem nicht den Fokus der Reduktionsmassnahmen alleine auf den Strassenverkehr zu setzen. Es sind weiterhin auch Massnahmen 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<sub>x</sub>) die Summe aus den beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) bezeichnet. Eine wesentliche Quelle für Stickoxide sind Verbrennungsprozesse. Damit dient dieser Schadstoff in der Luftreinhaltung u.a. auch als Leitparameter für Verbrennungsemissionen. Neben direkten, negativen, gesundheitlichen Auswirkungen bei übermässigen Stickoxidkonzentrationen, beeinflussen NO als auch NO<sub>2</sub> 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 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 (Herbst/Winter 2005/2006, 2008, 2011 und 2013) wurden vom 17. Dezember 2013 bis zum 18. Dezember 2014 in Nendeln an der Engelkreuzung kontinuierliche Immissionsmessungen mit einer Kleinmessstation vorgenommen. Obwohl, wie erwähnt, im 2011 erstmals parallel auch Stickoxide gemessen wurden, liegt der Schwerpunkt der Auswertungen auf den PM10-Immissionsmessungen.

### 4. GRUNDLAGEN

#### 4.1. MESSSTANDORT

Die Messungen wurden an der Engelkreuzung in Nendeln 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  $\beta$ -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. Das Messprinzip beruht darauf, dass bei der Oxidation von NO mit Ozon ein elektrisch angeregtes NO<sub>2</sub> 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 in dem vorliegenden Bericht zugrunde gelegten Messdaten wurden in der Zeit vom 17. Dezember 2013 bis 18. Dezember 2014 an den Standorten Nendeln Engelkreuzung 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 PM<sub>10</sub>-Messdaten wurden täglich und die NO<sub>x</sub>-Messdaten ca. 14-tägig plausibilisiert. Einmal pro Woche erfolgte eine Auswertung der PM<sub>10</sub>-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.

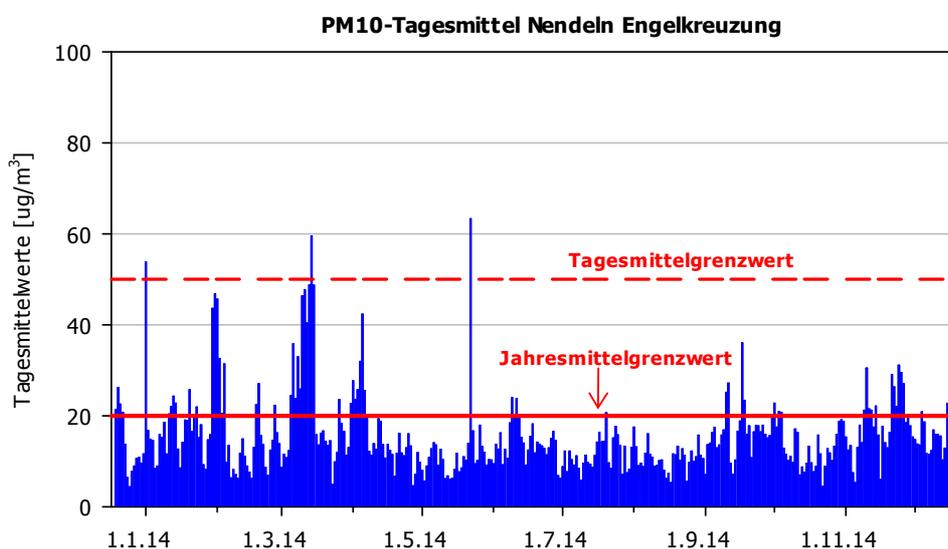
Auf eine bei kontinuierlichen Feinstaubmessungen häufig durchgeführte Parallelmessung mit dem Standardverfahren (gravimetrische Methode) wurde aus Kostengründen verzichtet. Erfahrungen an anderen Messstandorten haben gezeigt, dass mit dem eingesetzten Gerätetyp in den meisten Fällen vertretbar gute Übereinstimmungen 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 im 2011 erstmals parallel mit den Feinstaubmessungen durchgeführten Stickoxidmessungen. In Kapitel 7 werden zusätzlich einige Aspekte dargestellt, welche sich auf die Schadstoffe PM10 und NO<sub>x</sub> gleichermaßen beziehen.

### 5.1. TAGESMITTELWERTE

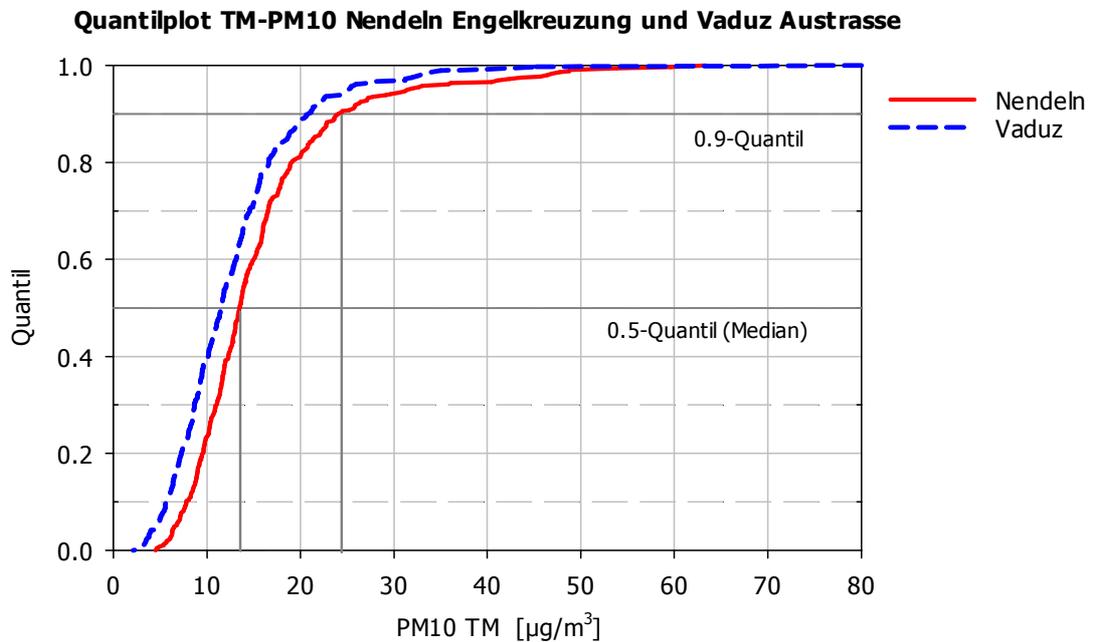
Eine Übersicht aller Tagesmittelwerte (TM) kann dem Anhang 1 entnommen werden. In Abbildung 1 ist der Verlauf der Tagesmittelwerte der gesamten Messperiode dargestellt. Während den insgesamt 363 Messtagen wurde der 24h-Immissionsgrenzwert (Tagesmittel) von 50 µg/m<sup>3</sup> 3 mal überschritten. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 25. Mai 2014 mit 63 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Tagesmittel über dem Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> wurden am Standort Nendeln Engelkreuzung an 70 Tagen (19%) gemessen. Die mittlere Konzentration in der Zeit vom 18. Dezember 2013 bis zum 17. Dezember 2014 lag mit 16 µg/m<sup>3</sup> unter dem Immissionsgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 1** Tagesmittelwerte 2014 am Standort Nendeln Engelkreuzung

Wie aus dem Quantilplot (Abbildung 2) hervorgeht, lagen die Konzentrationen am Standort Nendeln bei den dargestellten Quantilen höher als am Standort Vaduz Austrasse. Das 0.9-Quantil betrug in Nendeln 24 µg/m<sup>3</sup>. Dies bedeutet, dass während der Messperiode 10%

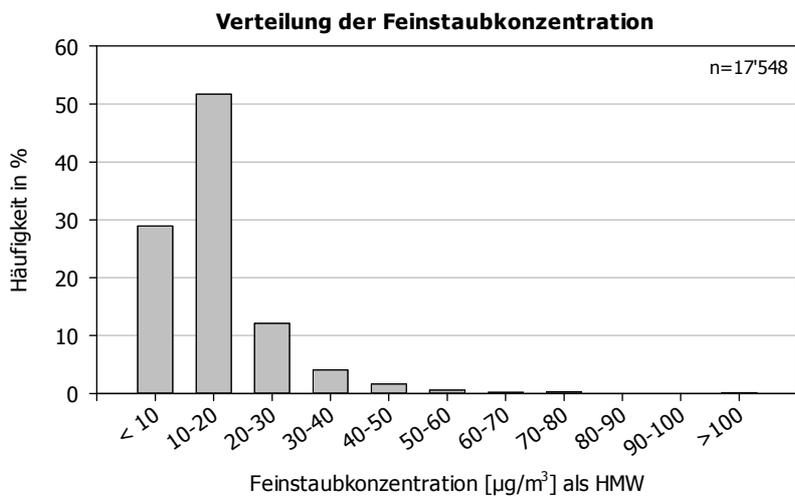
der Tagesmittelwerte über  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lagen. In Vaduz lag das 0.9-Quantil bei  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Das 0.5-Quantil (Median) lag in Nendeln bei  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und in Vaduz bei  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Abbildung 2** Quantilplot der PM10-Tagesmittelwerte 2014 an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse

## 5.2. KURZZEITBELASTUNGEN

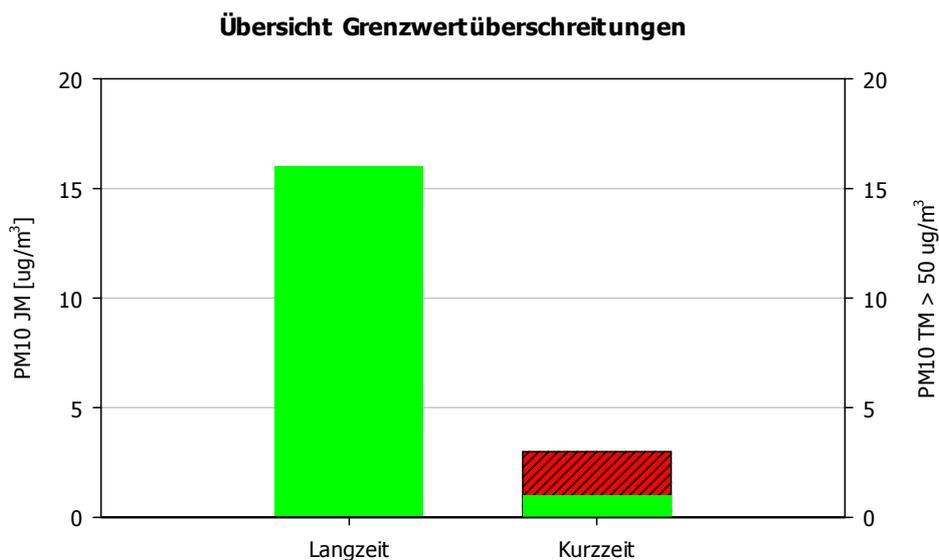
Die kurzzeitige PM10-Konzentration (Halbstundenmittelwerte) lag während 19% der Messperiode über dem Jahresmittelgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konzentrationen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden während 1.5% der Messzeit registriert (vgl. Abbildung 3).



**Abbildung 3** Häufigkeitsverteilung der Feinstaubbelastung (Halbstundenmittelwerte) im Jahr 2014 am Standort Nendeln Engelkreuzung

### 5.3. VERGLEICH MIT IMMISSIONSGRENZWERTEN

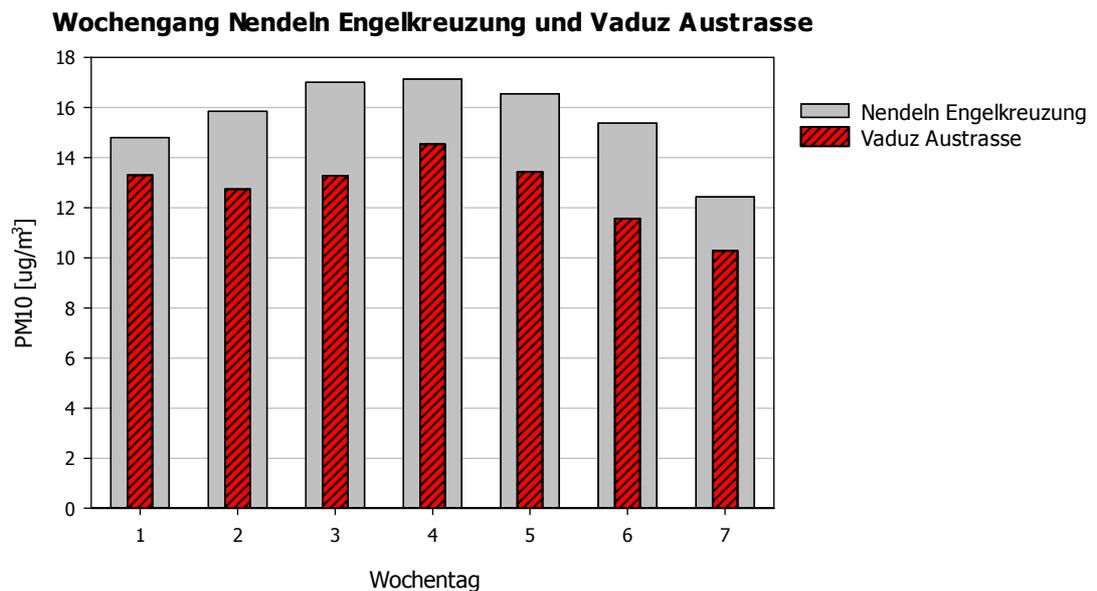
Der Langzeit-Immissionsgrenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kann mit einem Jahresmittelwert von  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingehalten werden. Hingegen wird mit drei Tagesmittelwerten über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von maximal einer Überschreitung pro Jahr 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 Nendeln Engelkreuzung mit den geltenden PM10-Immissionsgrenzwerten --> Grün Immissionsgrenzwert bzw. Messwert, rot Überschreitungen

## 5.4. WOCHENGANG

Der Wochengang am Standort Nendeln Engelkreuzung ist dem des Standorts Vaduz Austrasse ähnlich, liegt jedoch auf einem höheren Niveau. Am Standort Nendeln ist von Sonntag bis Donnerstag ein steter Anstieg der Konzentrationen erkennbar. Ab Donnerstag fällt die Belastung bis zum Sonntag weitestgehend kontinuierlich ab (Abbildung 5). Auch am Standort Vaduz Austrasse werden am Donnerstag die höchsten und am Sonntag die durchschnittlich tiefsten Belastungen gemessen. Der Donnerstag ist am Standort Nendeln Engelkreuzung um 37% stärker belastet als der durchschnittliche Sonntag. Am Standort Austrasse liegt dieser Wert bei 41%. Da natürliche Emissionen keinen Wochengang aufweisen, kann dies als Hinweis dafür betrachtet werden, dass an beiden Standorten anthropogene<sup>1</sup> Emissionen einen relevanten Beitrag zur Gesamtbelastung leisten. Die absolute Differenz am Standort Nendeln zwischen der durchschnittlichen Belastung am Donnerstag und jener am Sonntag liegt mit  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  leicht über der Differenz von  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , welche am Standort Vaduz registriert wurde.

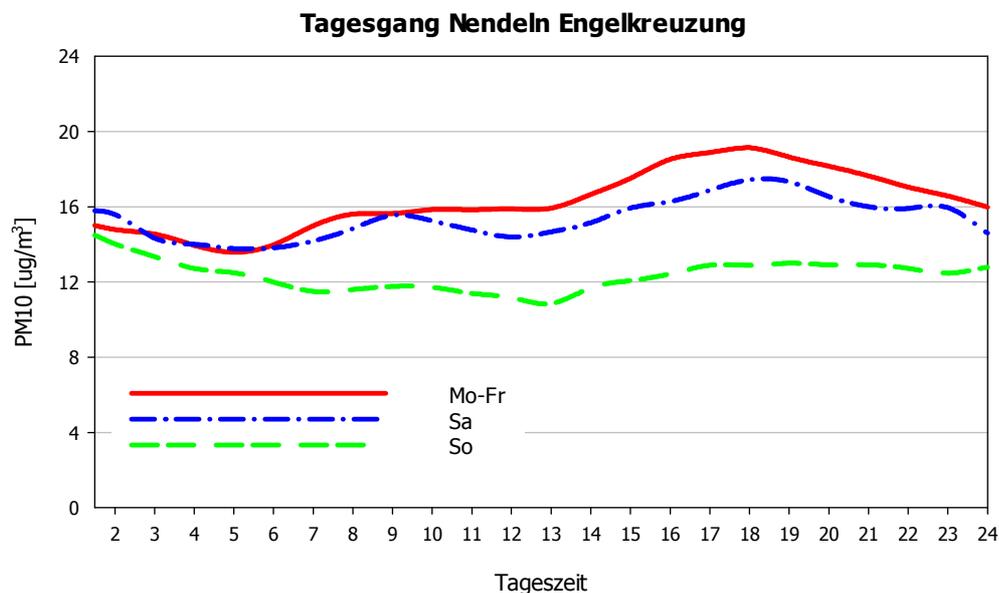


**Abbildung 5** Mittlere Feinstaubbelastung an den Wochentagen ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2013 bis Dezember 2014) am Standort Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse

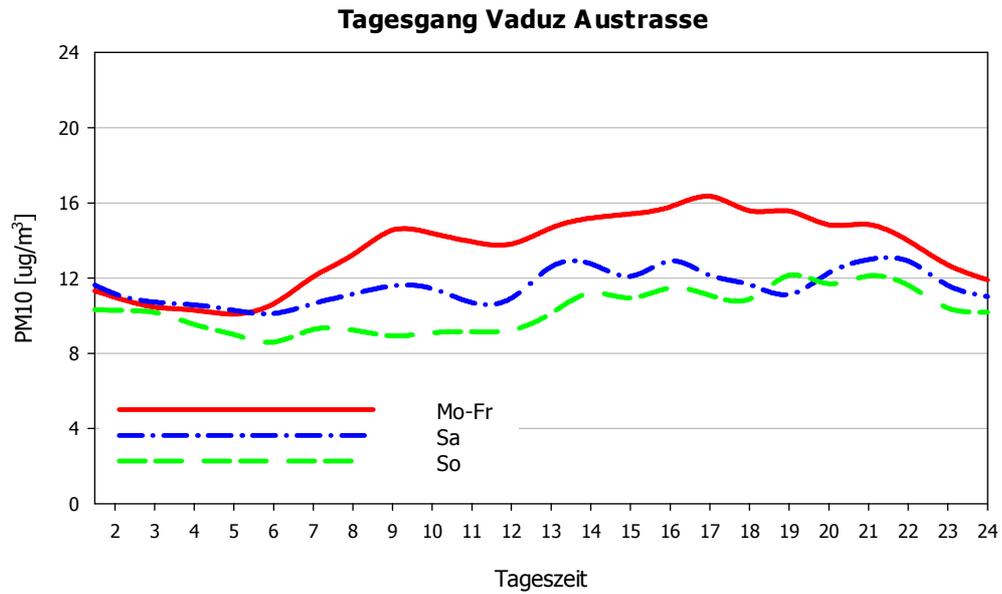
<sup>1</sup>Anthropogen bedeutet in diesem Zusammenhang vom Menschen verursacht bzw. beeinflusst

## 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  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den späten Abendstunden. Interessanterweise verharren die Konzentrationen nach einem ersten Anstieg zwischen ca. 05:00 Uhr und 08:00 Uhr bis knapp 13:00 Uhr auf einem konstanten Niveau von ca.  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ab 13:00 Uhr steigt die Konzentration bis ca. 18:00 Uhr von ca.  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis ca.  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stetig an. Der üblicherweise an strassennahen Standorten messbare Verlauf mit einer Morgen-, einer kleinen Mittags- und einer Abendspitze konnte am Standort an der Engelkreuzung nicht festgestellt werden. Einzig an Samstagen sind eine Morgen- und eine flache Abendspitze erkennbar. 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-Messstandort Vaduz Austrasse angeführt.

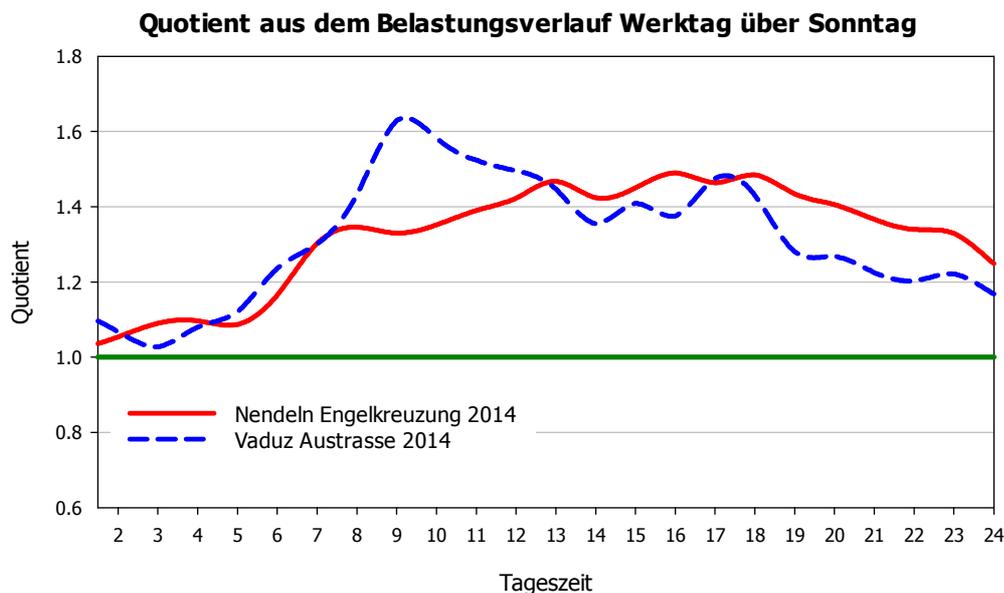


**Abbildung 6** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Nendeln Engelkreuzung ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2013 bis Dezember 2014 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)



**Abbildung 7** Mittlerer Tagesgang der Feinstaubbelastung am Standort Vaduz Austrasse ( $\emptyset$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden während der Messperiode Dezember 2013 bis Dezember 2014 an Werktagen (Montag bis Freitag), Samstagen und Sonntagen)

In Abbildung 8 sind die Quotienten der mittleren Belastung an Werk- und Sonntagen der Standorte Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse aufgeführt. Die beiden Verläufe unterscheiden sich vor allem in der Zeit zwischen 07:00 Uhr und 12:00 Uhr. In dieser Zeitspanne werden am Standort Vaduz Austrasse an Werktagen im Vergleich zum Sonntag deutlich höhere Belastungen gemessen als es am Standort in Nendeln der Fall ist. Der Quotient weist um ca. 09:00 Uhr an der Austrasse ein Maximum von 1.6 auf. In Nendeln liegt dieser Wert um dieselbe Zeit bei knapp ca. 1.3. Ab ca. 13:00 Uhr kehrt sich die Situation und der Quotient ist in Nendeln höher als an der Austrasse in Vaduz. Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass je höher der Quotient, desto stärker der lokale anthropogene Anteil an der Gesamtbelastung am jeweiligen Standort ist.

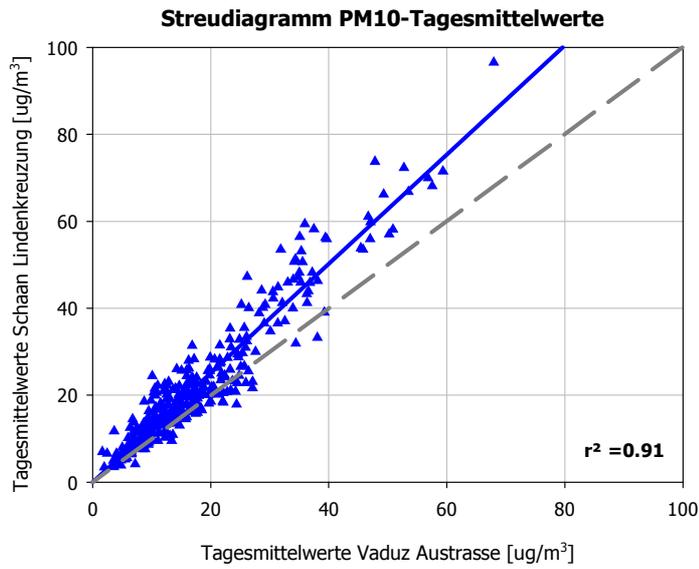


**Abbildung 8** Quotient aus dem mittleren Tagesgang der Feinstaubbelastung an Werk- und Sonntagen an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse (Messwerte Dezember 2013 bis Dezember 2014). Le-sebeispiel: Am Standort Nendeln Engelkreuzung sind die mittleren PM10-Konzentrationen morgens um 06:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 1.2 höher als an Sonntagen um dieselbe Zeit (06:00 Uhr). Der Wert 1 (dunkelgrüne Linie) bedeutet, dass zwischen der mittleren Belastung an Werktagen und Sonntagen kein Unterschied besteht.

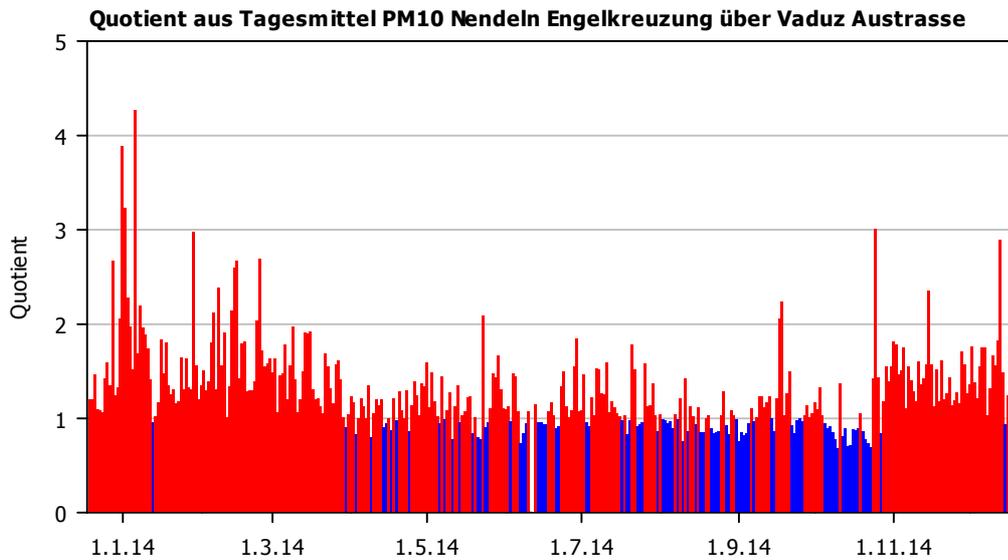
## 5.6. KORRELATION MIT MESSWERTEN ANDERER STAND-ORTE

Die Tagesmittelwerte der Messungen am Standort Nendeln Engelkreuzung korrelieren nur mässig ( $r^2 = 0.71$ ) mit jenen an der Ostluft-Messstation Vaduz Austrasse (vgl. Abbildung 9). Die Konzentrationen am Standort Schaan Lindenkreuzung und Vaduz Austrasse korrelierten im Messjahr 2013 mit einem  $r^2$  von 9.1 deutlich besser. Lediglich an 89 der 363 Messtage an denen Messwerte beider Stationen vorliegen, wurden in Vaduz Austrasse höhere Tagesmittelwerte als am Standort Nendeln Engelkreuzung registriert. 78 dieser 89 Tage waren während des Sommerhalbjahres (Mai bis Oktober). Damit wurden im Winterhalbjahr in Vaduz an nur 11 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 13% höher als am Standort Vaduz Austrasse<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 10).

<sup>2</sup>Die lineare Ausgleichsfunktion lautet  $y = 0.97x + 3.1$



**Abbildung 9** Streudiagramm der PM10-Tagesmittelwerte Nendeln Engelkreuzung und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Austrasse (Dezember 2013 bis Dezember 2014)



**Abbildung 10** Verlauf der Quotienten aus den PM10-Tagesmittelwerten Nendeln Engelkreuzung über Vaduz Austrasse vom Dezember 2013 bis Dezember 2014. Rote Balken → Belastung am Standort Nendeln Engelkreuzung ist höher als in Vaduz; blaue Balken → Die Belastung an der Austrasse in Vaduz war höher als in Nendeln. Lesebeispiel: Bei einem Wert von 2 lag die PM10-Belastung am Standort Nendeln Engelkreuzung um den Faktor 2 höher als jene am Standort Vaduz Austrasse

## 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 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 Nendeln an der Engelkreuzung wurde im Messjahr 2014 mit einem Jahresmittelwert von 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  der Immissionsgrenzwert von 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  eingehalten. Auch in Vaduz an der Landstrasse wurde der LRV-Grenzwert für Stickstoffdioxid mit einem Jahresmittel von 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich eingehalten. Es ist jedoch offensichtlich, dass die  $\text{NO}_2$ -Immissionsbelastung an den beiden Standorten mit einer Differenz im Jahresmittel von 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , was 44% entspricht, stark unterschiedlich ist. Diese vergleichsweise hohe Differenz lässt sich nicht nur mit der geringeren Entfernung zur Strasse erklären. Es dürften vor allem zwei Aspekte für die höhere Belastung beitragen. Zum einen ist der Schwerverkehrsanteil an der Engelkreuzung mit ca. 6% deutlich höher als auf der Austrasse mit ca. 3.4%. Der zweite Aspekt dürfte das Anfahren bzw. Beschleunigen der LKWs an der Kreuzung sein. Anfahren und Beschleunigen führen zu besonders hohen Emissionen. Zusätzlich muss von Eschen herkommend in einer Steigung angefahren werden, was die Emissionen nochmals erhöht.

In welchem Ausmass die erwähnten Aspekte für die Differenz verantwortlich sind, kann anhand der vorliegenden Resultate nicht abschliessend beantwortet werden. Allenfalls könnten zusätzliche Messungen und entsprechende Auswertungen der Verkehrsströme mehr Informationen darüber liefern.

**Tabelle 1** Übersicht der relevanten  $\text{NO}_2$ -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]
Nendeln Engelkreuzung	26	65	64	0
Vaduz <sup>1)</sup>	18	46	59	0
Immissionsgrenzwert	30	100	-	1

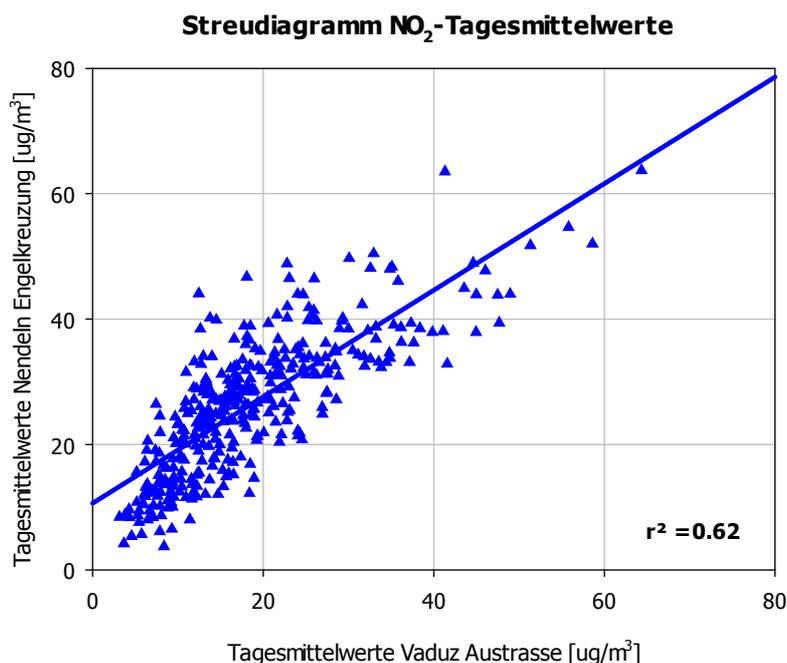
<sup>1)</sup> Quelle: Jahresbericht Ostluft

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

Standort	Jahresmittelwert (JMW)		Max. Tagesmittel	
	NO <sub>x</sub> [ppb]	NO [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>x</sub> [ppb]	NO [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Nendeln Engelkreuzung	37	26	171	160
Vaduz <sup>1)</sup>	20	10	137	129

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

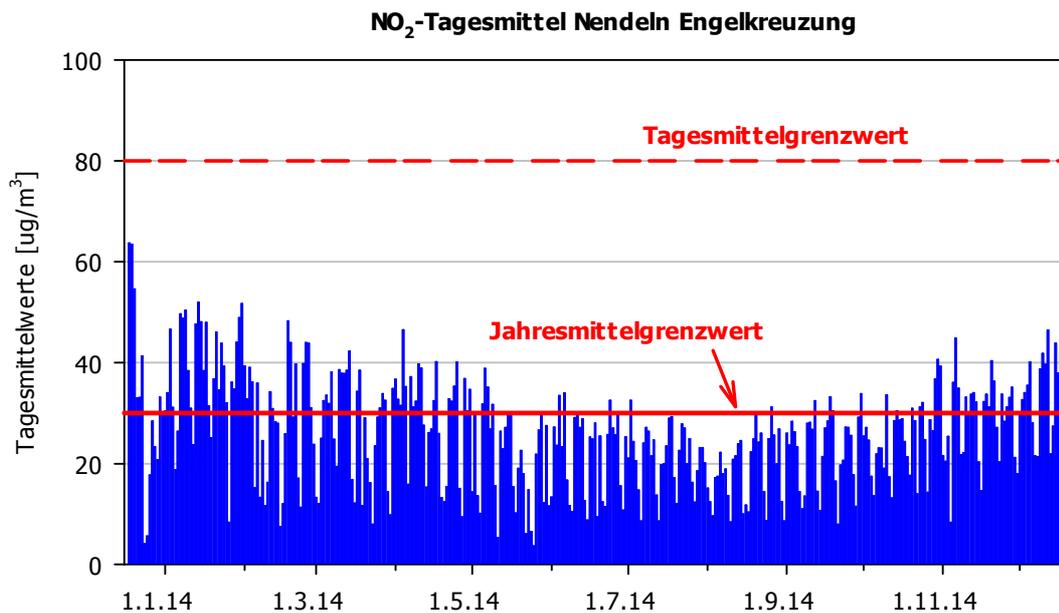
Der Vergleich der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte des Standortes Nendeln Engelkreuzung mit Vaduz Austrasse zeigt sehr deutlich, dass die Belastung in Nendeln an deutlich mehr Tagen höher war als in Vaduz. Dem Verlauf der Ausgleichsgeraden<sup>3</sup> in der Abbildung 11 kann entnommen werden, dass der Konzentrationsunterschied zwischen den beiden Standorten im Bereich des Immissionsgrenzwertes bei ca. 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt. An einzelnen Tagen ist jedoch der Unterschied der Belastung sehr hoch. So wurde beispielsweise am 29. Januar 2014 an der Engelkreuzung ein Tagesmittelwert von 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und an der Austrasse hingegen lediglich von 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen.



**Abbildung 11** Streudiagramm der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte Nendeln Engelkreuzung und der Ostluft-Immissionsmessstation Vaduz Austrasse (Dezember 2013 bis Dezember 2014).

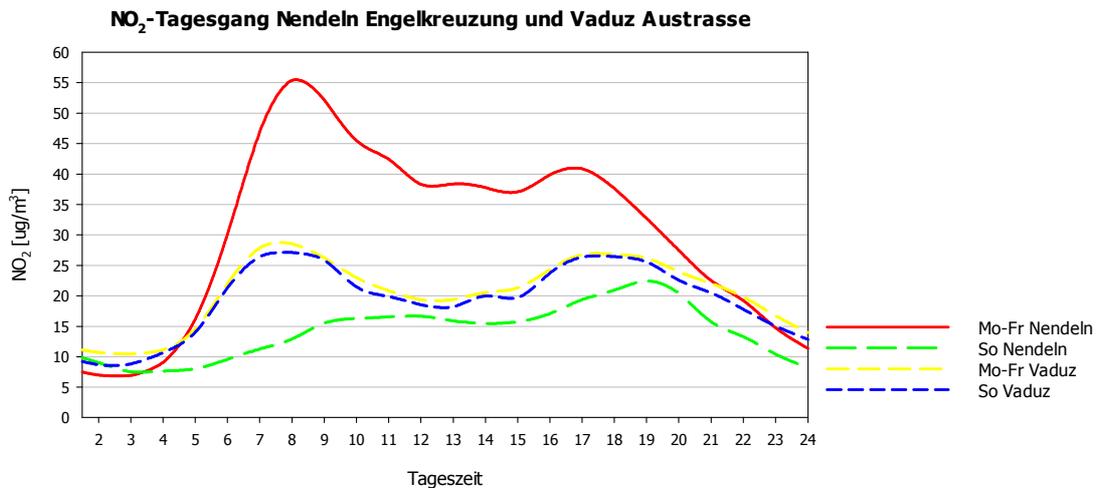
Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte kann der Abbildung 12 entnommen werden. Wie erwähnt, lagen während der Messperiode sämtliche Tagesmittel unter dem Immissionsgrenzwert von 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

<sup>3</sup> Lineare Ausgleichsfunktion  $0.85x+10.6$



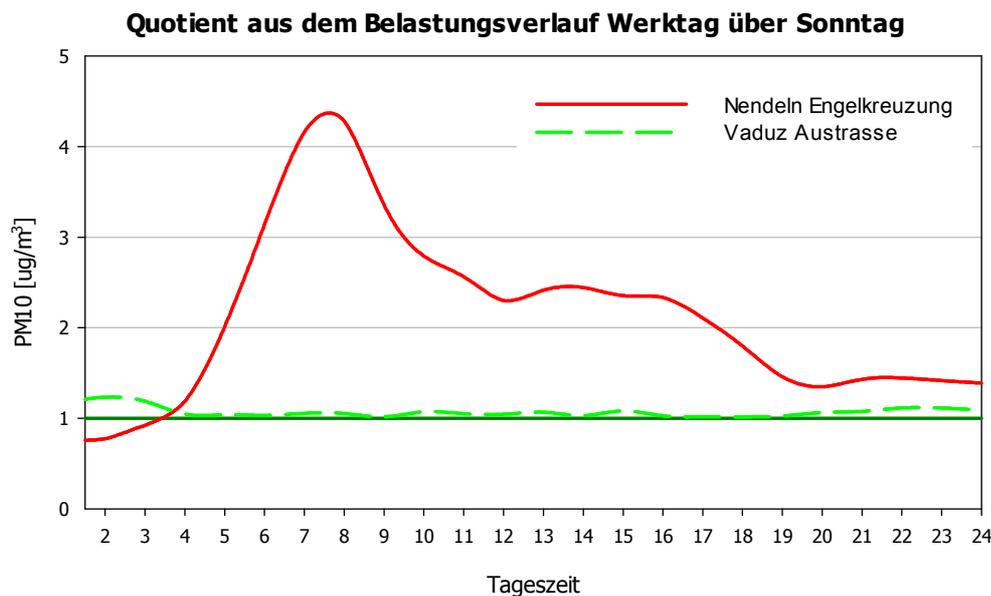
**Abbildung 12** NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte 2014 am Standort Nendeln Engelkreuzung

Der mittlere Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung unterliegt an beiden Standorten deutlichen Schwankungen (vgl. Abbildung 13). Der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Werktagen am Standort Nendeln Engelkreuzung sticht hervor. Die NO<sub>2</sub>-Belastung steigt im Durchschnitt von 04:00 Uhr morgens bis 08:00 Uhr um 680% Prozent von 7 µg/m<sup>3</sup> auf 55 µg/m<sup>3</sup> an. Am Sonntag, mit allgemein weniger Strassenverkehr und insbesondere beinahe keinem Schwerverkehr, bleibt dieser morgendliche Anstieg beinahe gänzlich aus. Somit kann der Hauptanteil dieses werktäglichen Anstieges dem Strassenverkehr zugeordnet werden. Interessanterweise verlaufen die beiden Kurven, Werktag und Sonntag, am Standort Vaduz Austrasse beinahe identisch (vgl. dazu auch Abbildung 14).



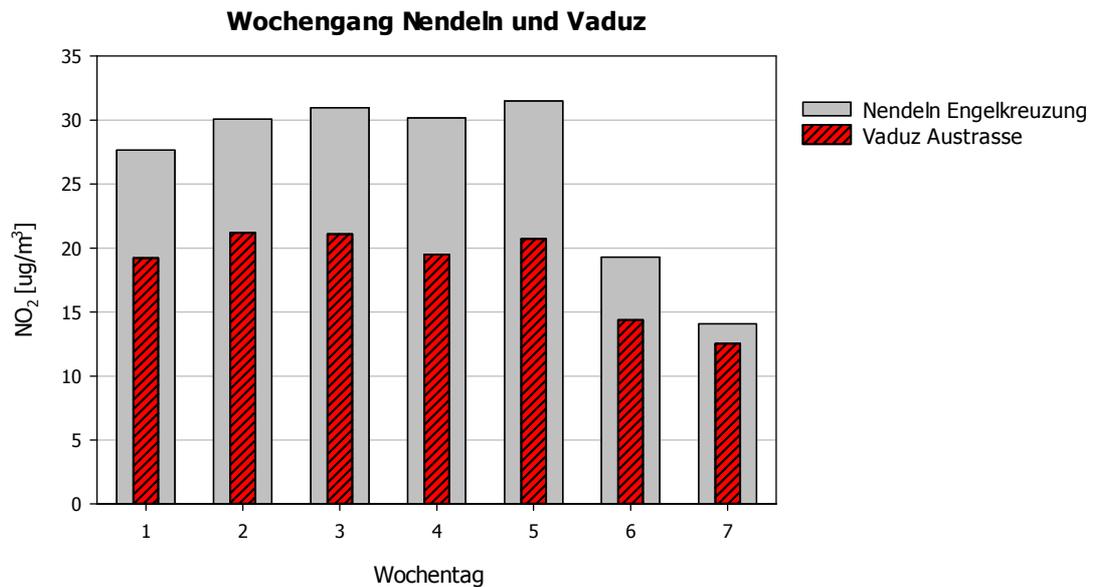
**Abbildung 13** Mittlerer Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse (Ø-Wert der Halbstundenmittelwerte aller Tagesstunden) während der Messperiode Dezember 2013 bis Dezember 2014 an Werk- (Montag bis Freitag) und Sonntagen

Sehr deutlich sind die in der Abbildung 13 dargestellten Verlaufsunterschiede zwischen Montag bis Freitag und Sonntag in der Abbildung 14. Während am Standort Vaduz Austrasse kaum ein Unterschied in der Belastung feststellbar ist, sieht die diesbezügliche Situation an der Engelkreuzung in Nendeln völlig anders aus. So werden beispielsweise in den Morgenstunden, zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr an den Werktagen um den Faktor 4.2 höhere Konzentrationen gemessen als es an Sonntagen der Fall ist. Dieser Faktor 4.2 ist, auch im Vergleich mit anderen Standorten, als hoch einzustufen. Dies heisst vereinfacht, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung am Standort Nendeln Engelkreuzung überaus dominant vom Strassenverkehr und insbesondere dem Schwerverkehr beeinflusst ist. Um jedoch gesicherte Aussagen darüber machen zu können, müssten die Daten der automatischen Verkehrszählungen im Detail ausgewertet werden. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch der Vergleich mit der Situation beim Feinstaub. Die werktägliche PM<sub>10</sub>-Belastung liegt in Nendeln an der Engelkreuzung lediglich um maximal den Faktor 1.5 höher als an Sonntagen. Die Resultate zeigen deutlich, dass zur Reduktion der PM<sub>10</sub>-Belastung an der Engelkreuzung nicht in erster Linie verkehrstechnische, sondern Minderungsmaßnahmen anderer Quellen umzusetzen sind. Zur Reduktion der NO<sub>2</sub>-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 Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse (Messwerte Dezember 2013 bis Dezember 2014). Lesebeispiel: Am Standort Nendeln Engelkreuzung sind die mittleren  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen morgens zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr an Werktagen um den Faktor 4.3 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 15 ist der durchschnittliche Wochengang der  $\text{NO}_2$ -Belastung an den Standorten Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse dargestellt. Die höchsten Belastungen werden von Dienstag bis Donnerstag mit einem leichten Maximum am Freitag gemessen. Wie auch bei der  $\text{PM}_{10}$ -Konzentration werden am Sonntag die eindeutig geringsten Belastungen registriert. Am Standort Nendeln Engelkreuzung lag die durchschnittliche  $\text{NO}_2$ -Konzentration an Freitagen um vergleichsweise hohe 123% über der Belastung wie sie im Durchschnitt an Sonntagen gemessen wurden. Am Standort Vaduz Austrasse lag der Anteil bei lediglich 65%. Dieser Verlauf, mit den höchsten Konzentrationen an den Werktagen, ist für stark verkehrsexponierte Standorte üblich. Am Samstag und Sonntag werden, aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens sowie weniger Aktivitäten im Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungssektor, deutlich tiefere Konzentrationen gemessen.

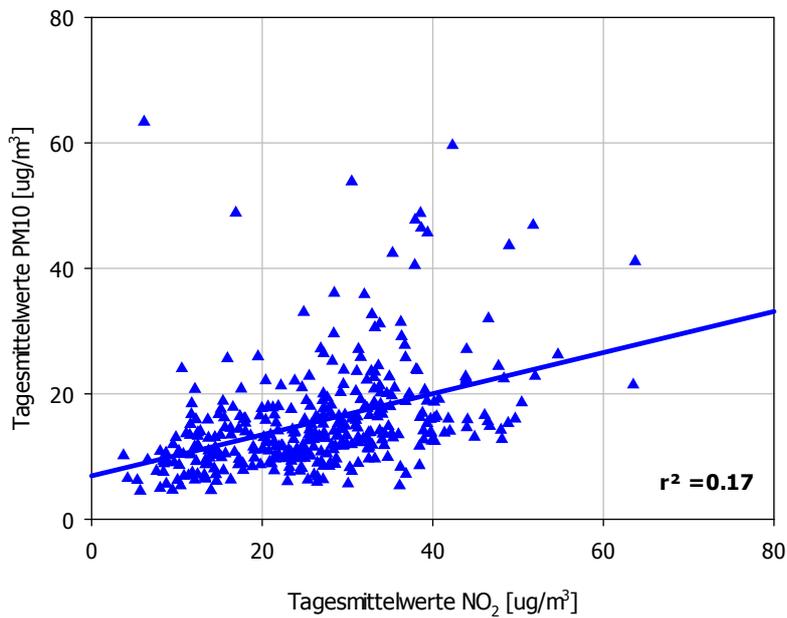


**Abbildung 15** Mittlere  $\text{NO}_2$ -Belastung an den Wochentagen ( $\bar{x}$ -Wert der Halbstundenmittelwerte aller Wochentage während der Messperiode Dezember 2013 bis Dezember 2014) am Standort Nendeln Engelkreuzung und Vaduz Austrasse

## 7. ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN FÜR $\text{PM}_{10}$ UND $\text{NO}_x$

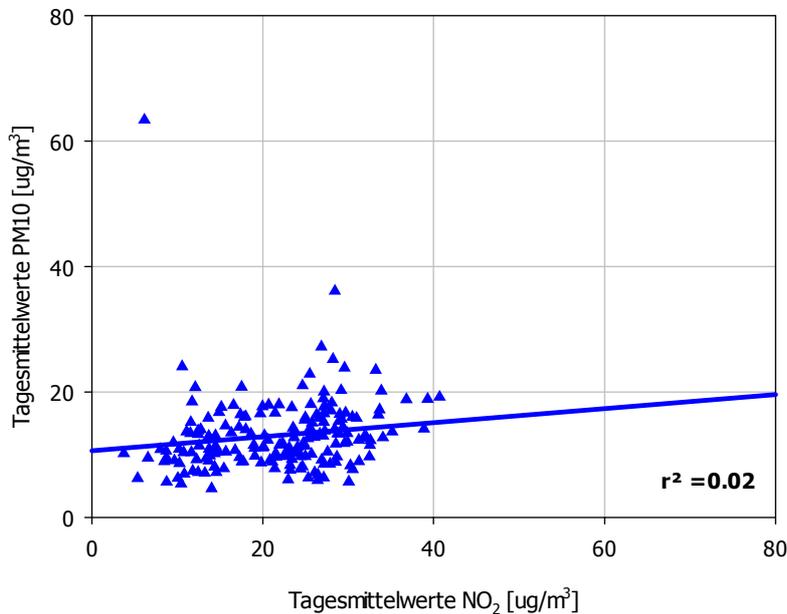
Wie eingangs des Berichtes erwähnt, wurden im 2011 erstmals parallel zu den Feinstaubmessungen in der Kleinmessstation auch kontinuierliche Stickoxid-Messungen durchgeführt. Würde die Belastung der beiden Schadstoffe gut korrelieren, wäre es möglich, aus der Feinstaubbelastung die  $\text{NO}_2$ -Belastung oder umgekehrt aus der  $\text{NO}_2$ -Belastung die Feinstaubkonzentration abzuleiten. Damit könnte auf die Messung eines der beiden Parameter verzichtet und entsprechend Kosten eingespart werden. Leider ist dies jedoch, wie aus der Abbildung 16 ersichtlich ist, nicht möglich. Die Korrelation der beiden Schadstoffkonzentrationen ist derart schwach, so dass es nicht möglich ist, mit einer genügenden Genauigkeit aus der Konzentration des einen Schadstoffes die Konzentration des anderen Schadstoffes ableiten zu können. Werden nur die Messungen im Sommerhalbjahr verglichen, so zeigt sich eine noch schwächere Korrelation zwischen der Feinstaub- und  $\text{NO}_2$ -Konzentration (vgl. Abbildung 17).

### Streudiagramm PM10 vs. NO<sub>2</sub> Nendeln Engelkreuzung



**Abbildung 16** Streudiagramm der NO<sub>2</sub>- und PM10 Tagesmittelwerte Nendeln Engelkreuzung (Dezember 2013 bis Dezember 2014).

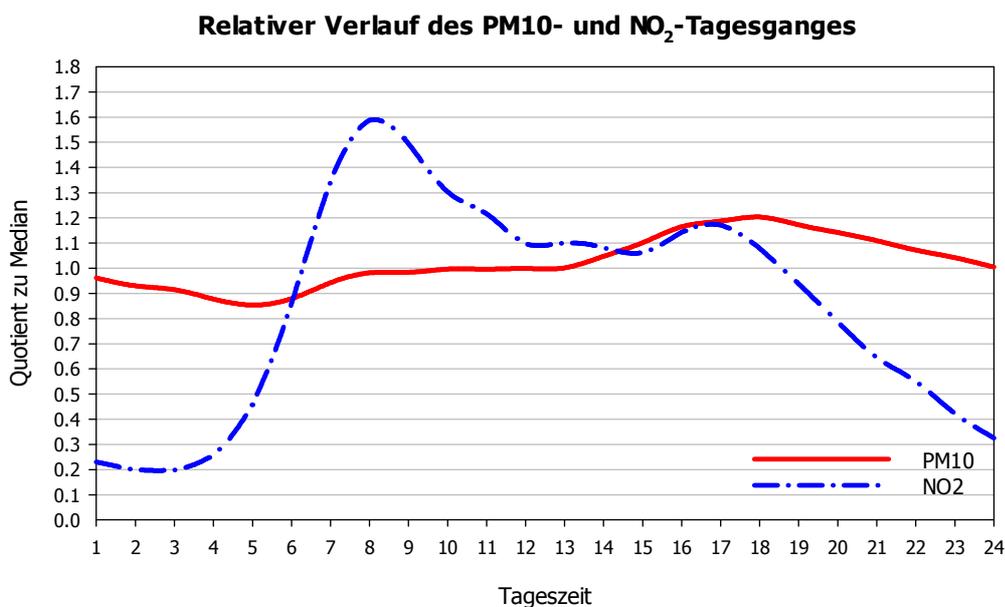
### Streudiagramm PM10 vs. NO<sub>2</sub> Nendeln Engelkreuzung Sommerhalbjahr



**Abbildung 17** Streudiagramm der NO<sub>2</sub>- und PM10 Tagesmittelwerte Nendeln Engelkreuzung im Sommerhalbjahr 2014 (Mai 2014 bis Oktober 2014).

Aus der Abbildung 18 ist ersichtlich, dass der Tagesgang der NO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich größeren Schwankungen unterliegt als es beim PM10 der Fall ist. Die Ursache dafür ist, dass der regionale und insbesondere lokale anthropogene Einfluss auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration

stärker als beim PM10 ist. Mit anderen Worten, der vom Menschen verursachte lokale Anteil der PM10-Belastung ist am Standort Nendeln Engelkreuzung deutlich niedriger als der Anteil an der NO<sub>2</sub>-Belastung. Während die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im angeführten Beispiel zwischen dem Faktor 0.5 bis 1.4 schwanken, sind es beim PM10 lediglich 0.85 bis 1.25.



**Abbildung 18** Quotient aus dem Median<sup>4</sup> der durchschnittlichen Stundenkonzentration der Feinstaub- und NO<sub>2</sub>-Konzentration an Werktagen (Messwerte Dezember 2013 bis Dezember 2014). Lesebeispiel: Um 8:00 Uhr morgens sind die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Durchschnitt um den Faktor 1.6 höher als der Median aller durchschnittlichen Stundenkonzentrationen. Der Wert 1 bedeutet, dass die Belastung in dieser Stunde dem Median entspricht.

<sup>4</sup> Der Median oder auch Zentralwert genannt, ist eine statistische Grösse. Der Median wird erhalten, wenn eine Zahlenreihe der Grösse nach sortiert wird. Der Median befindet sich danach an der mittleren Stelle der Zahlenreihe.

# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
18.12.2013	41	64
19.12.2013	21	64
20.12.2013	26	55
21.12.2013	23	33
22.12.2013	21	33
23.12.2013	14	41
24.12.2013	7	4
25.12.2013	4	6
26.12.2013	8	18
27.12.2013	9	28
28.12.2013	11	23
29.12.2013	11	21
30.12.2013	10	33
31.12.2013	12	29
01.01.2014	54	30
02.01.2014	17	34
03.01.2014	15	47
04.01.2014	15	31
05.01.2014	8	19
06.01.2014	9	26
07.01.2014	16	50
08.01.2014	15	49
09.01.2014	19	50
10.01.2014	12	38
11.01.2014	20	31
12.01.2014	22	24
13.01.2014	24	48
14.01.2014	23	52
15.01.2014	13	48
16.01.2014	9	38
17.01.2014	14	48
18.01.2014	19	32
19.01.2014	19	25
20.01.2014	26	37
21.01.2014	17	46
22.01.2014	20	35
23.01.2014	22	44
24.01.2014	15	39
25.01.2014	18	32
26.01.2014	9	8
27.01.2014	8	36
28.01.2014	15	35

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
29.01.2014	16	44
30.01.2014	44	49
31.01.2014	47	52
01.02.2014	46	39
02.02.2014	33	33
03.02.2014	21	39
04.02.2014	31	36
05.02.2014	10	15
06.02.2014	14	36
07.02.2014	6	13
08.02.2014	8	25
09.02.2014	7	12
10.02.2014	6	16
11.02.2014	12	34
12.02.2014	15	31
13.02.2014	11	28
14.02.2014	9	28
15.02.2014	8	8
16.02.2014	6	12
17.02.2014	13	26
18.02.2014	22	48
19.02.2014	27	44
20.02.2014	16	29
21.02.2014	14	40
22.02.2014	9	17
23.02.2014	7	11
24.02.2014	13	40
25.02.2014	15	44
26.02.2014	22	44
27.02.2014	16	31
28.02.2014	14	24
01.03.2014	9	13
02.03.2014	12	12
03.03.2014	11	25
04.03.2014	12	32
05.03.2014	24	34
06.03.2014	36	32
07.03.2014	24	38
08.03.2014	33	25
09.03.2014	26	19
10.03.2014	46	39
11.03.2014	48	38

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
12.03.2014	40	38
13.03.2014	49	39
14.03.2014	60	42
15.03.2014	49	17
16.03.2014	16	12
17.03.2014	14	34
18.03.2014	16	38
19.03.2014	17	12
20.03.2014	14	29
21.03.2014	13	21
22.03.2014	15	16
23.03.2014	5	8
24.03.2014	10	24
25.03.2014	12	29
26.03.2014	24	31
27.03.2014	18	34
28.03.2014	17	33
29.03.2014	11	14
30.03.2014	13	10
31.03.2014	23	35
01.04.2014	28	37
02.04.2014	24	33
03.04.2014	26	32
04.04.2014	32	47
05.04.2014	42	35
06.04.2014	26	16
07.04.2014	20	37
08.04.2014	12	31
09.04.2014	11	32
10.04.2014	14	40
11.04.2014	13	39
12.04.2014	19	28
13.04.2014	19	15
14.04.2014	14	26
15.04.2014	11	27
16.04.2014	14	32
17.04.2014	12	40
18.04.2014	12	26
19.04.2014	7	13
20.04.2014	12	12
21.04.2014	16	16
22.04.2014	12	33

# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
23.04.2014	11	32
24.04.2014	13	35
25.04.2014	16	40
26.04.2014	13	15
27.04.2014	5	9
28.04.2014	7	37
29.04.2014	12	30
30.04.2014	10	35
01.05.2014	8	14
02.05.2014	6	30
03.05.2014	9	14
04.05.2014	11	10
05.05.2014	13	32
06.05.2014	14	39
07.05.2014	14	35
08.05.2014	9	27
09.05.2014	13	32
10.05.2014	10	16
11.05.2014	6	5
12.05.2014	7	26
13.05.2014	6	23
14.05.2014	6	27
15.05.2014	8	30
16.05.2014	12	30
17.05.2014	8	15
18.05.2014	9	10
19.05.2014	11	19
20.05.2014	10	23
21.05.2014	14	18
22.05.2014	63	6
23.05.2014	17	15
24.05.2014	9	7
25.05.2014	10	4
26.05.2014	18	22
27.05.2014	13	27
28.05.2014	12	30
29.05.2014	9	12
30.05.2014	10	28
31.05.2014	10	12
01.06.2014	9	13
02.06.2014	14	27
03.06.2014	13	24

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
04.06.2014	16	34
05.06.2014	9	23
06.06.2014	13	34
07.06.2014	11	17
08.06.2014	18	12
09.06.2014	24	11
10.06.2014	20	29
11.06.2014	24	30
12.06.2014	20	27
13.06.2014	15	29
14.06.2014	14	13
15.06.2014	9	9
16.06.2014	13	25
17.06.2014	16	25
18.06.2014	18	28
19.06.2014	12	10
20.06.2014	14	26
21.06.2014	14	12
22.06.2014	13	12
23.06.2014	13	26
24.06.2014	12	33
25.06.2014	13	27
26.06.2014	15	26
27.06.2014	17	30
28.06.2014	15	16
29.06.2014	7	11
30.06.2014	6	25
01.07.2014	9	21
02.07.2014	12	33
03.07.2014	8	24
04.07.2014	12	21
05.07.2014	10	15
06.07.2014	9	9
07.07.2014	11	24
08.07.2014	8	27
09.07.2014	6	26
10.07.2014	10	22
11.07.2014	11	25
12.07.2014	10	14
13.07.2014	9	9
14.07.2014	9	20
15.07.2014	11	20

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
16.07.2014	14	24
17.07.2014	16	29
18.07.2014	14	29
19.07.2014	14	17
20.07.2014	21	12
21.07.2014	10	23
22.07.2014	8	28
23.07.2014	15	27
24.07.2014	18	20
25.07.2014	16	25
26.07.2014	13	16
27.07.2014	7	12
28.07.2014	13	19
29.07.2014	8	23
30.07.2014	8	23
31.07.2014	13	20
01.08.2014	18	15
02.08.2014	13	12
03.08.2014	9	10
04.08.2014	10	17
05.08.2014	9	18
06.08.2014	12	22
07.08.2014	16	18
08.08.2014	12	19
09.08.2014	11	14
10.08.2014	9	8
11.08.2014	9	21
12.08.2014	10	22
13.08.2014	10	24
14.08.2014	8	25
15.08.2014	6	10
16.08.2014	7	12
17.08.2014	5	10
18.08.2014	12	22
19.08.2014	11	25
20.08.2014	13	30
21.08.2014	10	24
22.08.2014	13	26
23.08.2014	11	14
24.08.2014	6	9
25.08.2014	10	25
26.08.2014	12	31

# ANHANG I

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

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
27.08.2014	10	26
28.08.2014	11	20
29.08.2014	16	27
30.08.2014	11	13
31.08.2014	11	9
01.09.2014	7	26
02.09.2014	14	24
03.09.2014	14	28
04.09.2014	16	26
05.09.2014	18	23
06.09.2014	13	14
07.09.2014	14	11
08.09.2014	16	14
09.09.2014	17	28
10.09.2014	25	28
11.09.2014	27	27
12.09.2014	10	32
13.09.2014	7	15
14.09.2014	10	11
15.09.2014	17	21
16.09.2014	19	27
17.09.2014	36	28
18.09.2014	23	33
19.09.2014	16	30
20.09.2014	18	17
21.09.2014	11	8
22.09.2014	17	20
23.09.2014	18	21
24.09.2014	18	27
25.09.2014	17	27
26.09.2014	18	26
27.09.2014	16	18
28.09.2014	15	12
29.09.2014	16	29
30.09.2014	20	34
01.10.2014	23	25
02.10.2014	18	27
03.10.2014	21	25

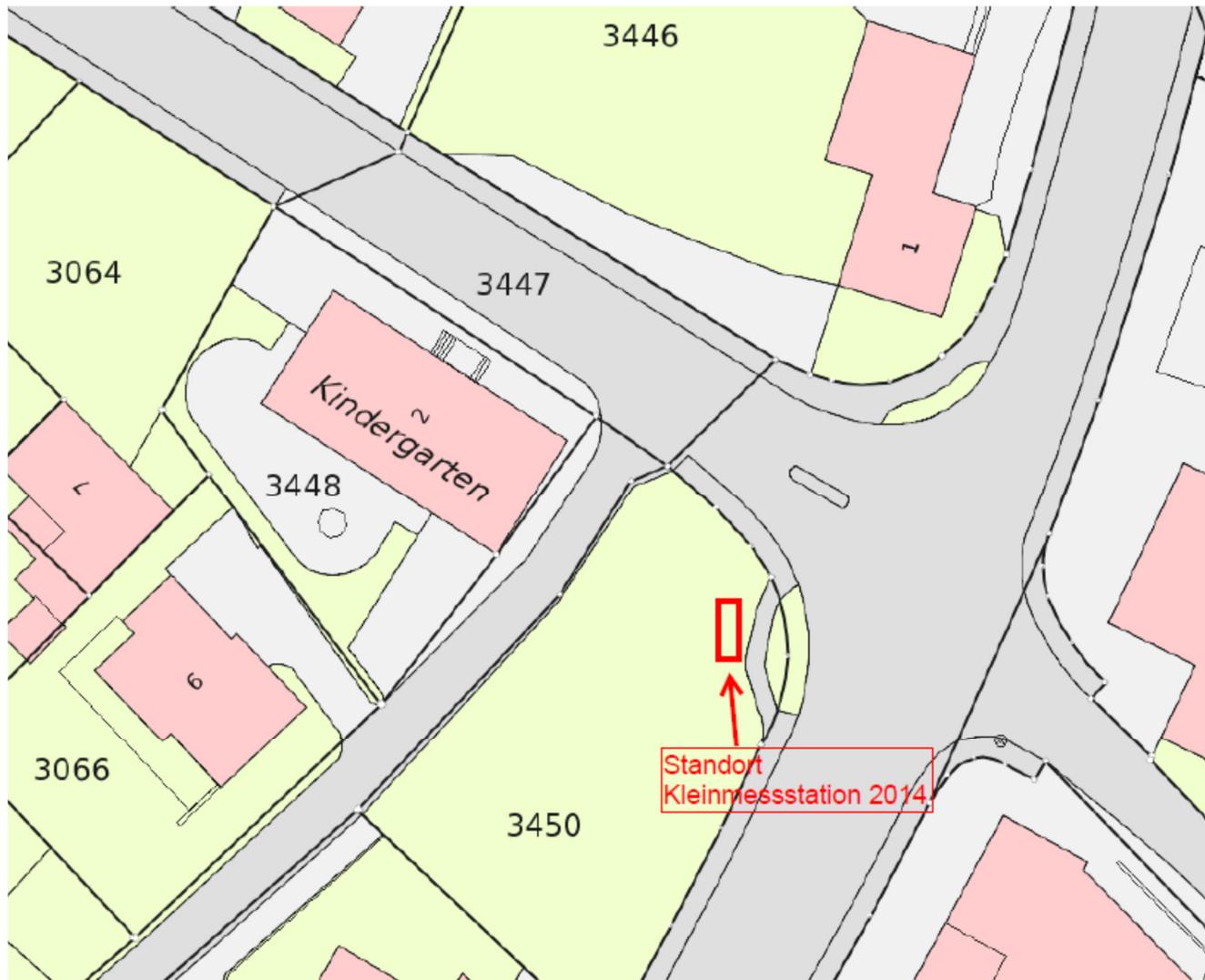
Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
04.10.2014	21	18
05.10.2014	13	14
06.10.2014	12	22
07.10.2014	10	23
08.10.2014	11	23
09.10.2014	10	19
10.10.2014	17	34
11.10.2014	16	17
12.10.2014	7	13
13.10.2014	9	29
14.10.2014	8	30
15.10.2014	10	29
16.10.2014	13	29
17.10.2014	10	24
18.10.2014	8	21
19.10.2014	9	18
20.10.2014	16	31
21.10.2014	12	29
22.10.2014	5	14
23.10.2014	9	31
24.10.2014	13	32
25.10.2014	12	25
26.10.2014	10	14
27.10.2014	13	29
28.10.2014	16	27
29.10.2014	19	37
30.10.2014	19	41
31.10.2014	19	39
01.11.2014	15	22
02.11.2014	13	20
03.11.2014	14	25
04.11.2014	8	8
05.11.2014	5	36
06.11.2014	13	45
07.11.2014	18	35
08.11.2014	14	22
09.11.2014	21	22
10.11.2014	31	33

Datum	PM10	NO <sub>2</sub>
11.11.2014	22	29
12.11.2014	21	34
13.11.2014	18	34
14.11.2014	22	32
15.11.2014	16	20
16.11.2014	6	15
17.11.2014	18	32
18.11.2014	14	34
19.11.2014	13	31
20.11.2014	16	40
21.11.2014	29	36
22.11.2014	26	27
23.11.2014	22	20
24.11.2014	31	34
25.11.2014	30	28
26.11.2014	27	31
27.11.2014	19	33
28.11.2014	20	35
29.11.2014	18	21
30.11.2014	15	18
01.12.2014	15	30
02.12.2014	14	33
03.12.2014	14	34
04.12.2014	21	36
05.12.2014	19	40
06.12.2014	12	28
07.12.2014	12	22
08.12.2014	12	21
09.12.2014	17	39
10.12.2014	16	42
11.12.2014	16	40
12.12.2014	16	46
13.12.2014	10	22
14.12.2014	13	27
15.12.2014	23	44

grau hinterlegt = Überschreitung des Immissionsgrenzwertes

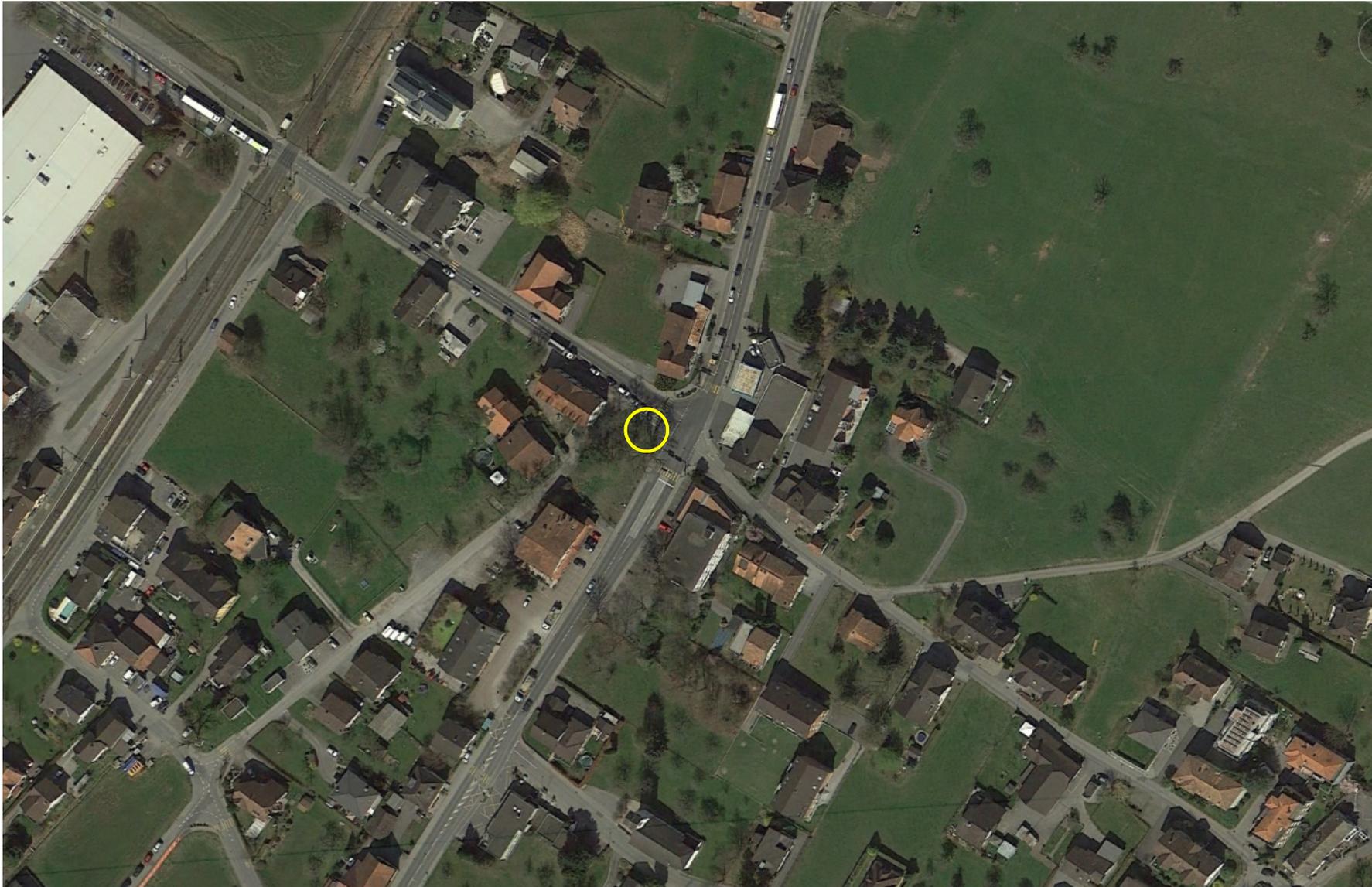
--- = ungenügende Anzahl Messdaten für einen gültigen Tagesmittelwert

## ANHANG II



Aus Geodatenportal llv.li

## ANHANG II



Quelle Goolge Earth