

EINFLUSS TEMPOLIMIT AUF DIE LUFTQUALITÄT



Resultate und Interpretation der Luft-Immissionsmessungen an der Grabenstrasse in Zug im Jahr 2017

Version: 17.04.2018

Autoren: Sarah Schöpfer, inNET Monitoring AG
Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Zusammenfassung

An der Grabenstrasse in Zug wurde im Sommer 2017 ein Tempo 30-Versuch durchgeführt. Dabei wurden Luftimmissionen gemessen und mit den Immissionen bei Tempo 50 im darauffolgenden Spätherbst und Winter verglichen. Nebst den Luftimmissionsmessungen wurde zeitlich versetzt die Lärmbelastung erhoben. Die Lärmresultate sind im Bericht «Kantonsstrasse 25, Lärmsanierung Grabenstrasse Zug, Versuch Tempo 30»¹ zu finden. Am Postplatz werden im Rahmen des inLUFT-Projekts² kontinuierlich die Luftimmissionen erhoben. Das Tempolimit wurde am Postplatz jedoch nicht verändert und lag durchgehend bei 50 km/h. Somit kann diese Station als Referenzmessung genutzt werden.

Im vorliegenden Bericht werden Zeitreihen, Tagesgänge und Wochengänge der absoluten Messwerte für PM₁₀, Russ, NO_x und NO₂ am Postplatz und der Grabenstrasse analysiert und für die beiden Zeitperioden verglichen. Um meteorologische Schwankungen in den Messdaten zu minimieren, wird die Luftschadstoffbelastung am Postplatz als Hintergrundbelastung betrachtet und zusätzlich die absoluten und relativen Differenzen der Grabenstrasse zum Postplatz analysiert. Die beiden Zeiträume Tempo 30 und Tempo 50 unterscheiden sich in Bezug auf die Luftqualität nur im Bereich der Messunsicherheit. Es konnte kein signifikanter Unterschied aufgrund des Temporegimes in der Luftimmissionsbelastung festgestellt werden. Die Messzeiträume sind jedoch kurz und die beiden Perioden erstrecken sich über unterschiedliche Jahreszeiten, was die Interpretation erschwert. Zusätzlich waren die durchschnittlichen Tempi selbst bei Signalisation 50 km/h aufgrund des Verkehrsaufkommens und der örtlichen Gegebenheiten während des Tages deutlich unter dem signalisierten Tempolimit (ca. 35 km/h) und es ist daher die logische Schlussfolgerung, dass die Umsignalisierung keinen wesentlichen Einfluss auf die Luftqualität haben kann. Die Messungen zeigen aber deutlich auf, dass die Immissionsbelastung der Verkehrsleitparameter (NO_x, NO₂ und Russ) an der strassennahen Messstation Grabenstrasse zwischen 24 % und 55 % höher sind als an der etwas weiter von der Verkehrsachse entfernten Messstation Postplatz. Zudem ist an den beiden Wochenendtagen Samstag und Sonntag die Immissionsbelastung zwischen 15 % und 50 % tiefer als an den Werktagen Montag bis Freitag.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verminderung der Maximalgeschwindigkeit weder einen positiven noch einen negativen signifikanten Effekt auf die Luftschadstoffbelastung an der Grabenstrasse hat. Aus dieser Aussage kann aber keine allgemeine Gültigkeit für andere Standorte abgeleitet werden.

¹ Basler&Hofmann AG, 2018, Bericht-Nr. 6049.000 Vers. 0, verfasst von U.Huwer, S.Nigg, M.Weber und A.Vidal

² www.inluft.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 3 -
2	Ausgangslage	- 4 -
2.1	Messmittel und Messgrößen.....	- 6 -
3	Resultate.....	- 7 -
3.1	Immissionsbelastung in Zug im Gesamtkontext.....	- 7 -
3.2	Zeitreihen	- 8 -
3.3	Wochengang.....	- 12 -
3.4	Tagesgang.....	- 15 -
3.5	Einfluss Wind	- 17 -
3.6	Spezielle Events	- 19 -
4	Interpretation	- 21 -
4.1	Verkehrsaufkommen und Vergleich mit Emissionsberechnungen	- 21 -
4.2	Fazit: Einfluss Tempobeschränkung auf Immissionsbelastung	- 22 -
Anhang 1	Qualitätssicherung.....	- 23 -
A 1.1	Datenqualität.....	- 23 -
A 1.2	Vergleichsmessungen EBC.....	- 25 -

1 Einleitung

Mitten in der Stadt Zug wurde im Sommer 2017 ein Tempo 30–Versuch (signalisierte Maximalgeschwindigkeit 30 km/h anstatt 50 km/h) an der Grabenstrasse durchgeführt. Zweck des Versuches sind Lärm und Luftimmissionsmessungen, um abzuklären, ob mit Tempo 30 (T30) anstelle von Tempo 50 (T50) die Lärm- und die Luftschadstoffbelastung für die Anwohner reduziert werden kann. Der vorliegende Bericht präsentiert die Resultate der Luftimmissionsmessungen. Eine Auswertung der Lärmmessungen und des Verkehrsaufkommens kann im Bericht «Kantonsstrasse 25, Lärmsanierung Grabenstrasse, Zug, Versuch Tempo 30»³ von Basler&Hofmann (2018) gefunden werden.

Am Postplatz in Zug steht, unabhängig vom Versuch, eine inLUFT-Messstation⁴, betrieben von der inNET Monitoring AG. Für den T30-Versuch, sowie für Vergleichsmessungen mit T50, wurde an der Grabenstrasse ein zusätzlicher Messschrank der inNET in Betrieb genommen. Ausserdem werden Winddaten der MeteoSchweiz verwendet. Die nächstgelegene SwissMetNet Station ist Cham. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Messstandorte.

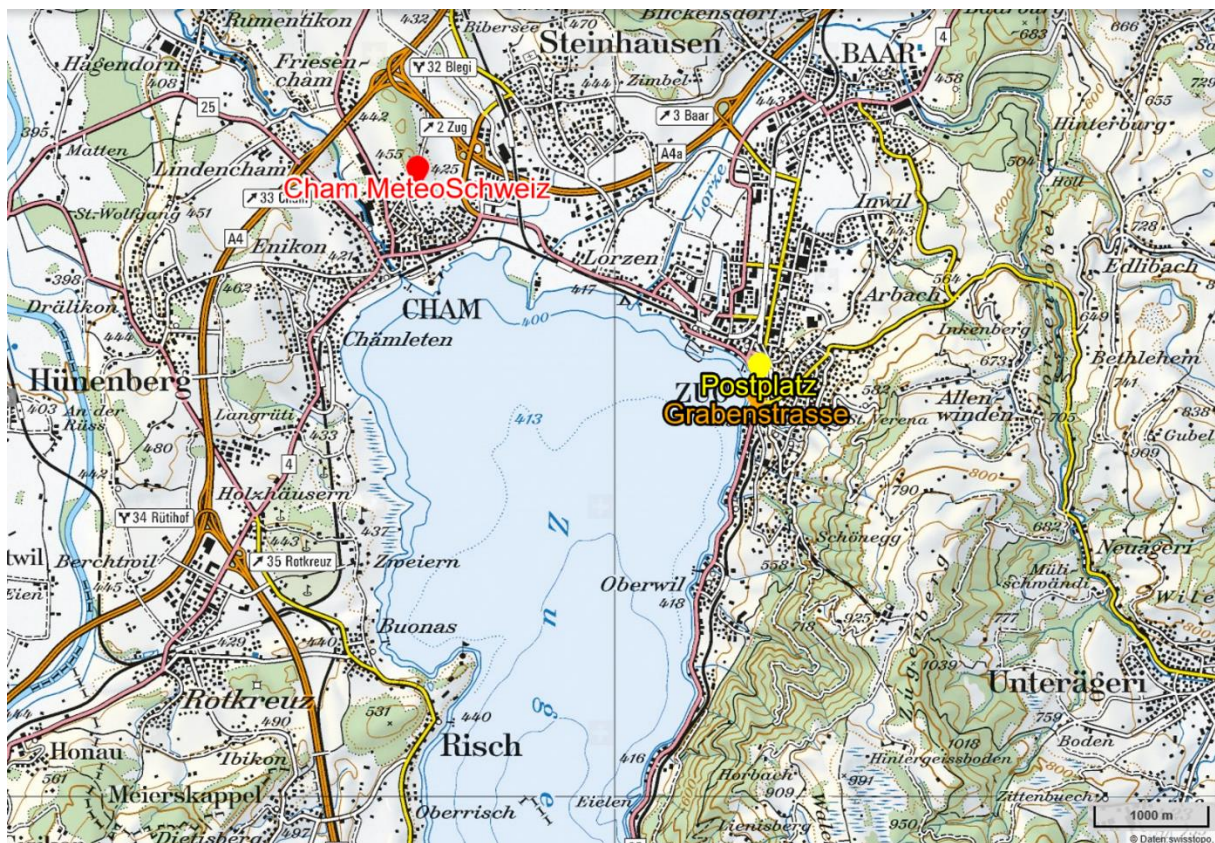


Abbildung 1: Messstandorte der in diesem Bericht verwendeten Daten. Die Luftimmissionsmessstandorte befinden sich in Zug am Postplatz (gelb) und der Grabenstrasse (orange). Rot markiert ist die MeteoSchweiz Messstation in Cham, von welcher Winddaten verwendet werden. (Karte: map.geo.admin.ch)

³ Basler&Hofmann AG, 2018, Bericht-Nr. 6049.000 Vers. 0, verfasst von U.Huwer, S.Nigg, M.Weber und A.Vidal

⁴ www.inluft.ch

2 Ausgangslage

Am Standort Zug Postplatz werden kontinuierlich Luftschadstoffmessungen durchgeführt. Das Tempolimit blieb dort für den gesamten Zeitraum bei maximal 50 km/h bestehen.

Vom 10. Juni 2017 bis zum 29. Oktober 2017 wurde das Tempolimit an der Grabenstrasse Zug (zwischen Kolinplatz und Casino, blaue Fläche in Abbildung 3) auf maximal 30 km/h umsignalisiert. Vor und nach dem Versuch liegt das Limit dort ebenfalls bei maximal 50 km/h.

Für die T30-Versuchszeit wurden zusätzliche Messdaten in der T30-Zone (Grabenstrasse) erhoben. Der Messschrank wurde aufgrund der vorherrschenden Windverhältnisse an der östlichen Strassenseite platziert. Die Messungen an der Grabenstrasse wurden vom 3. November 2017 bis zum 31. Dezember 2017 am selben Standort bei T50 wiederaufgenommen. Dazwischen (4. Oktober 2017 bis 3. November 2017) wurden die dort stationierten Messgeräte für EBC-Parallelmessungen (PM) mit der bereits vorhandenen Messstation am Postplatz verwendet. Details dazu sind im Anhang A 1.2 zu finden. Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf für die beiden Standorte schematisch.

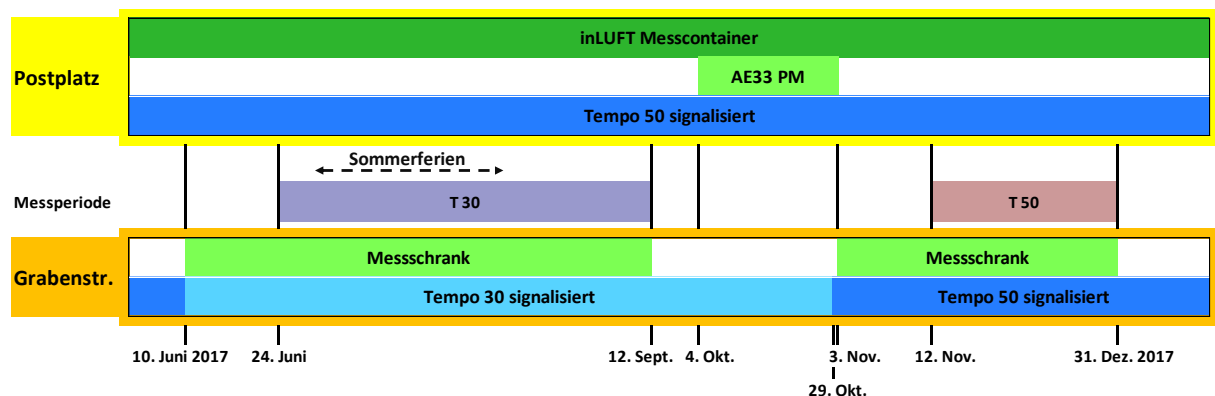


Abbildung 2: Zeitliche Übersicht der Messstandorte und Tempolimits für die Grabenstrasse und den Postplatz in Zug. T30 und T50 markieren die in diesem Bericht verwendeten Messperioden (vergleiche Tabelle 1).

Die Luftimmissionsmessungen mussten zeitversetzt zu den Lärmmessungen durchgeführt werden, da die Klimaanlage der Luftimmissionsmessstation an der Grabenstrasse während der Nacht die Lärmmessungen beeinflusst hätte.

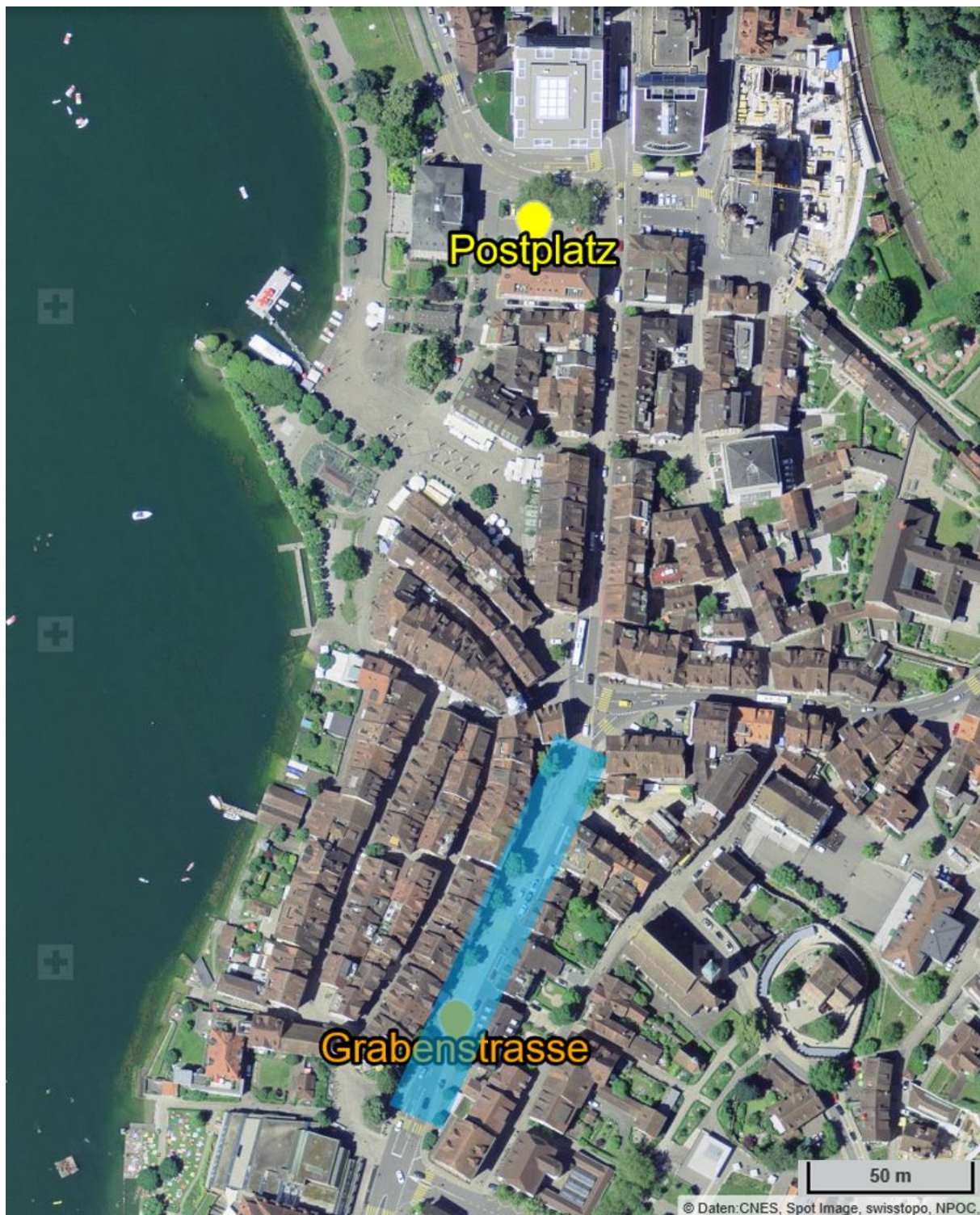


Abbildung 3: Standortsübersicht der Luftschadstoffmessungen in Zug. Blau markiert ist die Zone, in welcher während der T30-Periode eine Maximalgeschwindigkeit von 30 km/h signalisiert war. (Karte: map.geo.admin.ch)

Die genauen Positionen der Messstandorte können der Abbildung 3 entnommen werden.

Da die Messungen über verschiedene Jahreszeiten hinweg andauern, werden die Messungen am Postplatz im Folgenden auch als Referenz benutzt. Werden von den Werten an der Grabenstrasse diejeni-

gen des Postplatzes subtrahiert, können meteorologische Schwankungen minimiert werden. Die räumliche Nähe der beiden Messstandorte rechtfertigt dies. Da aber bei höheren Werten auch die Abweichung höher ist (die Saisonalität ist auch in den Differenzen vorhanden), wird neben der absoluten Differenz auch die relative Differenz betrachtet.

Eine Umsignalisierung des Geschwindigkeitslimits benötigt eine gewisse Anpassungszeit für die betroffenen Verkehrsteilnehmer. Zwischen der Umsignalisierung von T50 auf T30 beziehungsweise von T30 auf T50 wurde eine Sicherheitsreserve von rund zwei Wochen eingesetzt. Für die Auswertungen in diesem Bericht werden deshalb folgende Zeitperioden (Tabelle 1) verwendet, welche in Abbildung 2 schematisch als Messperioden dargestellt sind:

Tabelle 1: Verwendete Zeitperioden für die Auswertung

Bezeichnung	Beginn	Ende
Tempo 30 (T30)	24. Juni 2017	12. September 2017
Tempo 50 (T50)	12. November 2017	31. Dezember 2017
Parallelmessung AE33	4. Oktober 2017	29. Oktober 2017

2.1 Messmittel und Messgrössen

In Tabelle 2 sind die an den beiden Standorten Postplatz und Grabenstrasse verwendeten Messinstrumente, sowie deren Messunsicherheit bezogen auf Tagesmittelwerte aufgelistet. Die Stickoxidmessungen (NO_x und NO₂) wurden nach dem Referenzverfahren gemäss Immissionsmessempfehlungen des Bundesamts für Umwelt (BAFU)⁵ durchgeführt. Die Russmessungen wurden mit Aethalometern AE33 durchgeführt. Diese Messwerte werden mit elemental Black Carbon (EBC) bezeichnet. Dank der Parallelmessungen (siehe auch Abbildung 1) zwischen den beiden Messperioden an der Messstation Postplatz liegt die relative Messunsicherheit zwischen den Geräten bei tiefen 5 %. Die Feinstaubmessungen (Partikel mit einem Durchmesser kleiner 10 µm = PM₁₀) wurden aus Kostengründen nur mit Online-Monitoren und nicht mit dem Referenzverfahren für Feinstaub (HighVolume-Sampler-Messungen, HVS) durchgeführt. Dadurch ist die Feinstaubmessung mit der grössten Messunsicherheit behaftet.

⁵ Empfehlungen, Immissionsmessung von Luftfremdstoffen, BAFU 2004

Tabelle 2: Messparameter, Messgeräte je Standort, Seriennummer und Messunsicherheit

Messparameter	Standort	Messgerät	Seriennummer	Messunsicherheit (in % des Tagesmittelwertes)
Feinstaub (PM10)	Postplatz	Fidas 200	6446	± 15
Russ (EBC)	Postplatz	Aethalometer AE33	SO2-00288	± 5
Stickoxide (NO ₂ , NO _x)	Postplatz	Thermo 42i	1161200004	± 10
Feinstaub (PM10)	Grabenstrasse	Fidas 200	6359	± 15
Russ (EBC)	Grabenstrasse	Aethalometer AE33	S06-00566	± 5
Stickoxide (NO ₂ , NO _x)	Grabenstrasse	Thermo 42i	1235556101/ 1129350089	± 10

3 Resultate

3.1 Immissionsbelastung in Zug im Gesamtkontext

Mit dem inLUFT-Messnetz⁶ wird die Luftqualität in der Zentralschweiz überwacht. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte aus den Jahren 2015-2017 für die lufthygienischen Messgrössen PM10, EBC, NO₂ und NO_x an vier ausgewählten Stationen. Die in der Spalte «Kategorie» aufgelisteten inLUFT-Kategorien sind folgendermassen definiert:

- Kategorie 1: Standort liegt näher als 300 m an einer stark befahrenen Strasse ausserorts mit mehr als 15'000 Fahrzeugen pro Tag.
- Kategorie 3: Städte mit mehr als 25'000 Einwohnern; der Standort liegt an einer stark befahrenen Strasse.
- Kategorie 4: Städte/Regionalzentren mit 10'000 bis 25'000 Einwohnern.

Tabelle 3: Mittelwerte über die letzten drei verfügbaren Jahre (2015 - 2017) der PM10, EBC, NO₂ und NO_x Belastung an den inLUFT-Messstandorten Luzern Moosstrasse, Ebikon Sedel, Schwyz und Zug Postplatz (Daten: www.in-luft.ch)

Station	Kategorie	PM10 [µg m ⁻³]	EBC [µg m ⁻³]	NO ₂ [µg m ⁻³]	NO _x [ppb]
LRV ⁷ -Jahresmittel-immissionsgrenzwert	-	20	0.1 ⁸	30	-
Luzern Moosstrasse	3	20.72	1.06	42.36	46.76
Ebikon, Sedel	1	15.27	0.49	21.03	18.56
Schwyz, Rubiswilstrasse	4	15.43	-	18.86	16.07
Zug, Postplatz	3	16.39	-	29.54	29.03

Beim EBC ist die Bildung des Dreijahresmittels für Schwyz und Zug wegen ungenügender Datenverfügbarkeit nicht möglich. Die Belastung von PM10, NO₂ und NO_x kann für Zug mit Stationen in der Region

⁶ <http://www.in-luft.ch/messnetz>

⁷ Schweizerische Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985

⁸ Schutzziel der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL)

verglichen werden. Bei allen drei Schadstoffen ist die Belastung in Zug höher als auf dem Sedel und in Schwyz, was aufgrund der Kategorie auch zu erwarten ist. Luzern Moosstrasse fällt in dieselbe Kategorie wie Zug Postplatz. Die Immissionsbelastung ist jedoch in Luzern Moosstrasse deutlich höher als in Zug. Im Vergleich mit den LRV-Jahresmittelimmissionsgrenzwerten schneidet von den vier Stationen nur Luzern Moosstrasse kritisch ab. Zug Postplatz liegt beim PM10 unter dem Grenzwert. Beim NO₂ lag 2015 eine leichte Überschreitung vor, wodurch der Dreijahresmittelwert im Bereich des Grenzwertes liegt. Die Luftschadstoffbelastung beim Postplatz in Zug kann für eine Schweizer Stadt als gering bis mässig eingestuft werden. Die Zufuhr von frischer Seeluft trägt an diesem Standort positiv dazu bei.

3.2 Zeitreihen

Um einen ersten Einblick in die Daten zu erhalten, werden die Messdaten für PM10, EBC, NO₂ und NO_x über die 2. Jahreshälfte 2017 in Abbildung 4 für die beiden Stationen Postplatz (blau) und Grabenstrasse (grün) als gemittelte Tageswerte dargestellt. Es fällt auf, dass die Werte an der Grabenstrasse, besonders beim NO₂ und NO_x, höher sind, als diejenigen am Postplatz. Bei T50 (rot hinterlegt) scheint diese Diskrepanz grösser als bei T30 (blau hinterlegt). An der Grabenstrasse sind höhere Werte zu erwarten, da die Messstation näher an der Strasse liegt. Die Schwankungen sind hauptsächlich meteorologischen Ursprungs. Um einen weiteren Vergleich zwischen den beiden Standorten zu erhalten, werden in Abbildung 5 nur die Differenzen der Tageswerte (jeweils die Messwerte vom Postplatz von denjenigen an der Grabenstrasse abgezogen) betrachtet. Zusätzlich ist ein Fehlerband angegeben. Dazu wurde die in Tabelle 2 angegebene Messunsicherheit auf den Absolutwert am Postplatz angewandt und für die Grabenstrasse übernommen (Fehler kann sich bei Subtraktion akkumulieren). Die Messunsicherheit beim PM10 ist vergleichbar mit den absoluten Differenzen. Bei den drei weiteren Schadstoffen hält sich die Messunsicherheit im Vergleich zu den Differenzen in Grenzen. Die grösseren Differenzen im Winter, wie aus Abbildung 4 vermutet, werden in Abbildung 5 bestätigt. Ist in Abbildung 5 die Differenz (blaue Linie) grösser null, ist die Immissionsbelastung an der Grabenstrasse höher als am Postplatz. Da die Werte im Winter (klimatologisch bedingt) tendenziell höher sind als im Sommer, sind entsprechend auch die Unterschiede grösser.

Um dies zu relativieren, werden in Abbildung 6 die relativen Differenzen betrachtet. Auch hier gilt, dass bei höherer Immissionsbelastung an der Grabenstrasse als am Postplatz die Kurve im positiven Bereich liegt. Die Abweichungen der Tageswerte der Grabenstrasse vom Postplatz in % sind weniger durch die Jahreszeit beeinflusst. Ein Zweistichproben t-Test (5 %-Signifikanzniveau) für die in Tabelle 1 definierten Perioden ergibt, dass sich die relativen Differenzen (Tageswerte) beim PM10 und EBC für T50 und T30 signifikant voneinander unterscheiden. Dieser Zusammenhang wird in Kapitel 3.3 genauer untersucht. Die Messunsicherheit wird beim t-Test nicht berücksichtigt.

Im Schnitt (über die gesamte Zeitspanne betrachtet) weist die Grabenstrasse gegenüber dem Postplatz um 55.1 % beim NO_x, um 24.5 % beim NO₂ und um +24.8 % beim EBC höhere Immissionswerte auf. Diese Unterschiede bei den Verkehrsleitparametern zeigen deutlich, dass die Immissionsbelastung an verkehrsnahen Standorten deutlich höher ist, als an Standorten mit grösserer Distanz zu den Hauptverkehrsachsen.

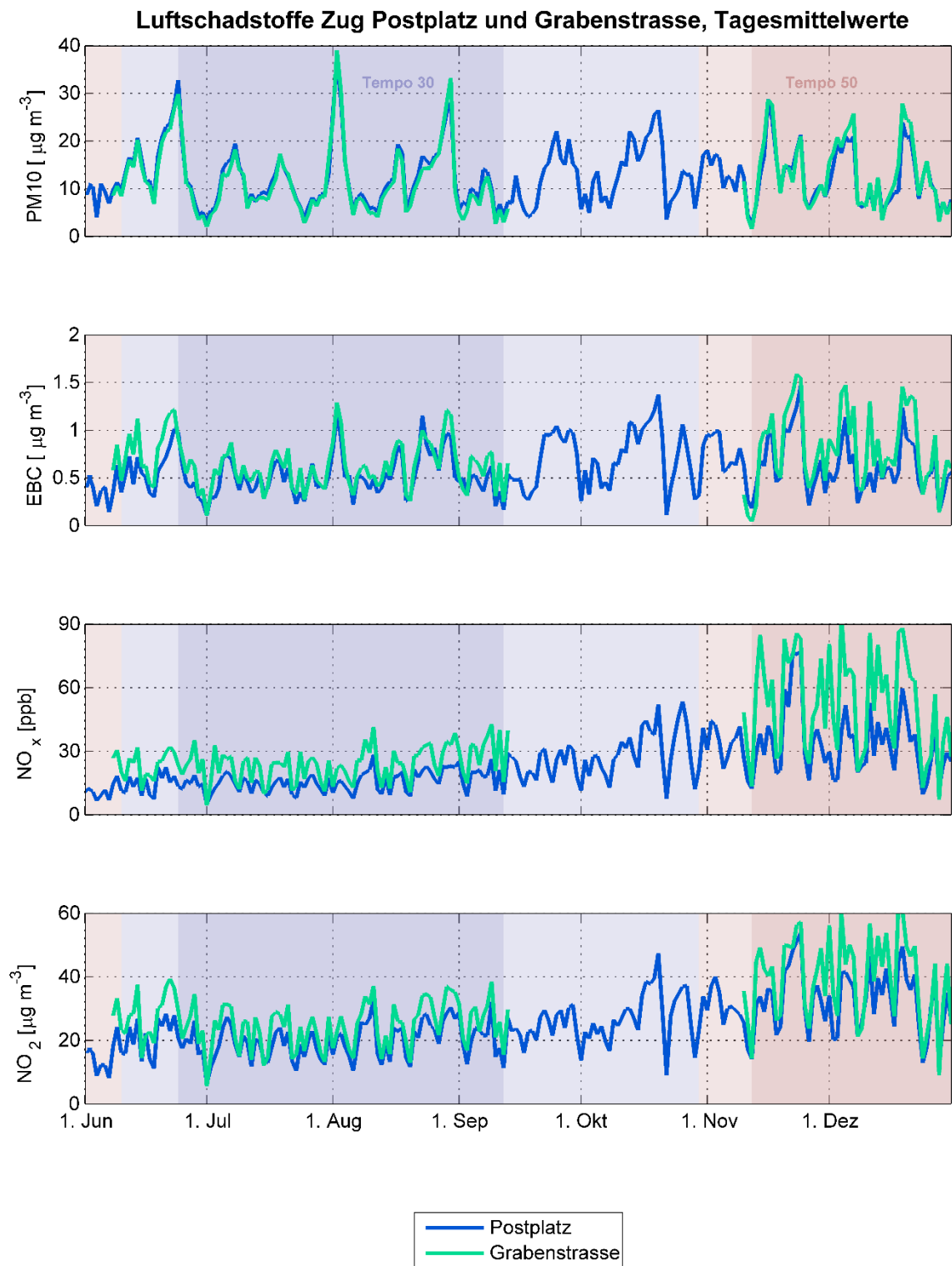


Abbildung 4: Zeitreihe vom 1. Juni bis 31. Dezember 2017 der Tagesmittelwerte für PM10, EBC, NO_x und NO₂ am Postplatz Zug (blaue Kurve) und an der Grabenstrasse Zug (grüne Kurve). Blau hinterlegt ist der Zeitraum, in welchem T30 signalisiert war, rot hinterlegt T50. Leicht dunkler (rot und blau hinterlegt) sind die tatsächlich verwendeten Messperioden (Tabelle 1) markiert.

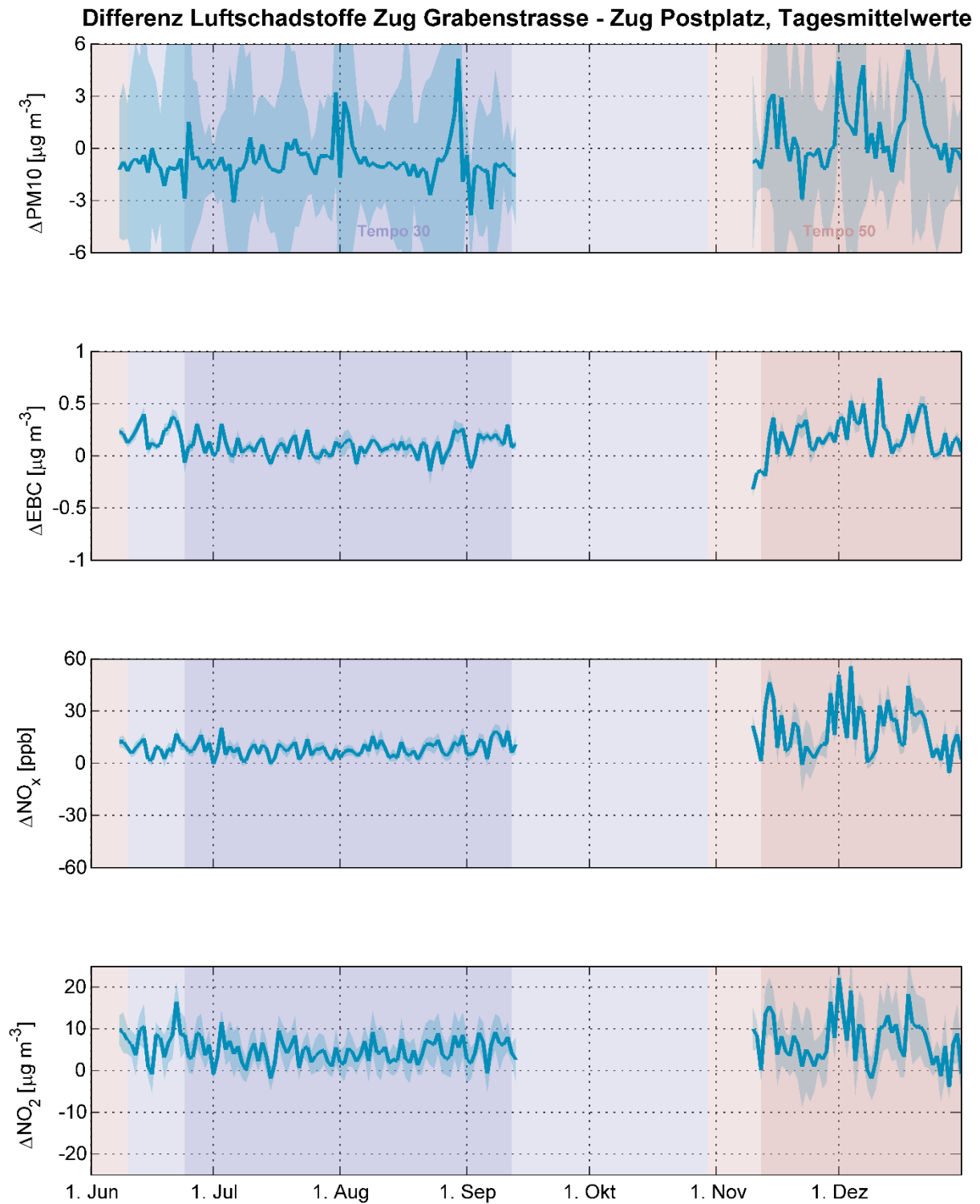


Abbildung 5: Zeitreihe der absoluten Differenz der Tagesmittelwerte mit einem Fehlerband für die kumulierte Messunsicherheit (Referenz ist die Messung am Postplatz). Abweichung der Grabenstrasse vom Postplatz für PM_{10} , EBC, NO_x und NO_2 vom 1. Juni bis 31. Dezember 2017. Blau hinterlegt ist der Zeitraum, in welchem T30 signalisiert war, rot hinterlegt T50. Leicht dunkler (rot und blau hinterlegt) sind die tatsächlich verwendeten Messperioden (Tabelle 1) markiert.

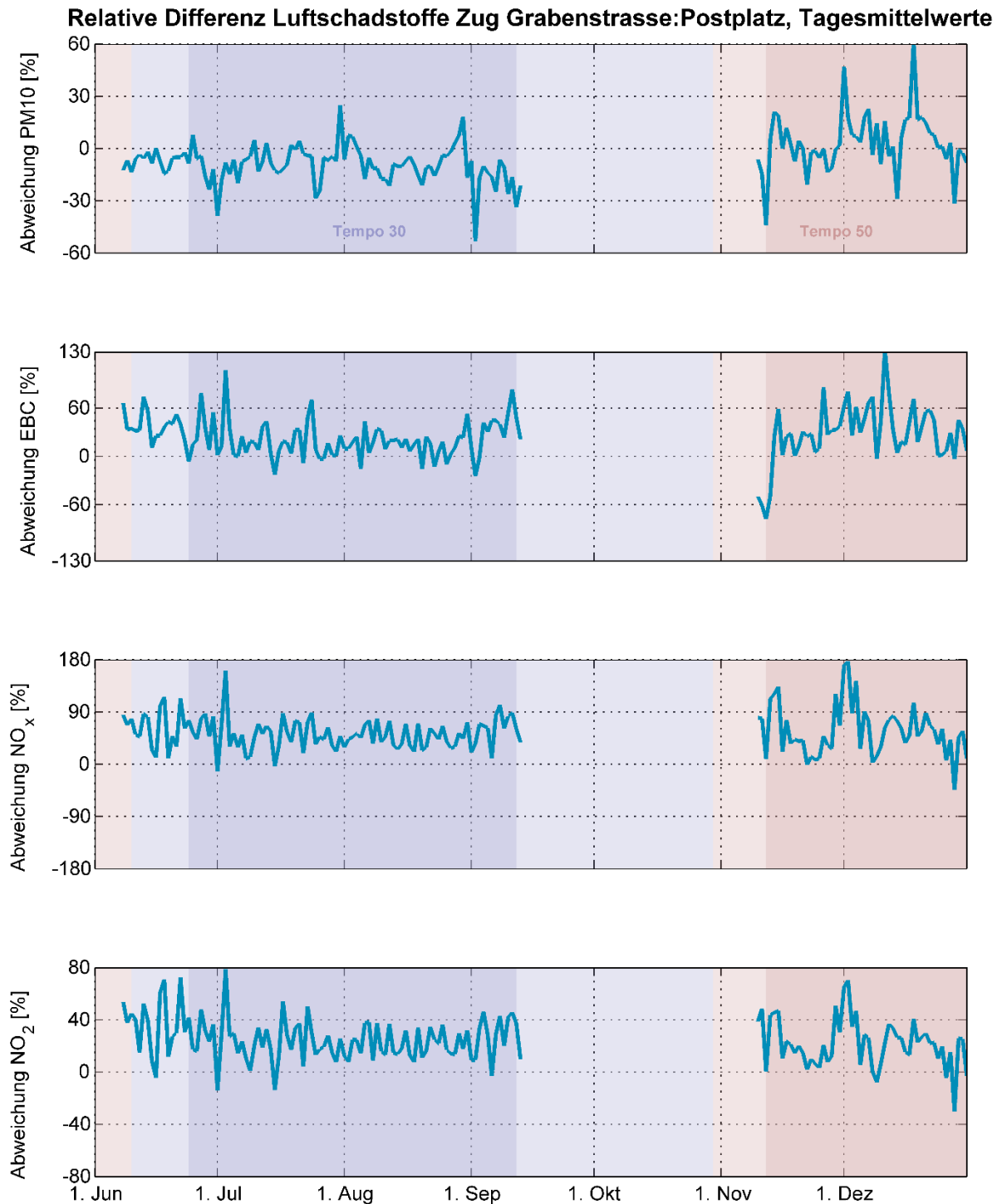


Abbildung 6: Zeitreihe der relativen Differenz der Tageswerte. Abweichung der Grabenstrasse vom Postplatz in Prozent für PM10, EBC, NO_x und NO₂ vom 1. Juni bis 31. Dezember 2017. Blau hinterlegt ist der Zeitraum, in welchem T30 signalisiert war, rot hinterlegt T50. Leicht dunkler (rot und blau hinterlegt) sind die tatsächlich verwendeten Messperioden (Tabelle 1) markiert.

Vom 8. Juli bis 20. August 2017 waren im Kanton Zug Sommerferien. Dieser Zeitraum fällt optisch nicht auf in den Zeitreihen und wird deshalb nicht weiter berücksichtigt. Ein t-Test ist in diesem Fall nicht aussagekräftig, da bei den absoluten Werten die Meteorologie den Haupteinflussfaktor darstellt. Bei den relativen Differenzen fällt der Zeitraum ebenfalls nicht auf, da der Einfluss an beiden Messstationen ähnlich ist.

3.3 Wochengang

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen mittlere Wochengänge der vier gemessenen Luftschadstoffe für die Grabenstrasse (grün) und den Postplatz (blau) für T30 (Abbildung 7) und T50 (Abbildung 8). Für die Bildung der Tagesmittelwerte wurden hier nur 30min Werte zwischen 05:00 und 22:30 Uhr verwendet. Die Zeitperiode 05:00 bis 22:30 Uhr wurde als Tagesperiode gewählt, da sich während diesem Zeitraum der Verkehr signifikant vom Nachtverkehrsaufkommen unterscheidet (vgl. Abschnitt 4.1). Während der Nachtperiode sind folglich die Verkehrsemissionen sehr gering. Die gewählte Nachtperiode unterscheidet sich zu derjenigen, welche in der Lärmschutzverordnung definiert ist. Der Fehlerbalken in Abbildung 7 entspricht der in Tabelle 2 angegebenen Messunsicherheit (bezogen auf den jeweiligen Tagesmittelwert). Die höheren Werte an der Grabenstrasse, im Vergleich zum Postplatz, kommen hier wiederum durch die Distanz der Messstation zur Strasse zustande. In den beiden Abbildungen kann ebenfalls erkannt werden, dass die EBC-, NO_x - und NO_2 -Belastung bei T50 signifikant höher ist als bei T30. Die Wochengänge spiegeln das grössere Verkehrsaufkommen werktags wieder. An Wochenenden ist die Luftimmissionsbelastung um 15 % bis 50 % geringer.

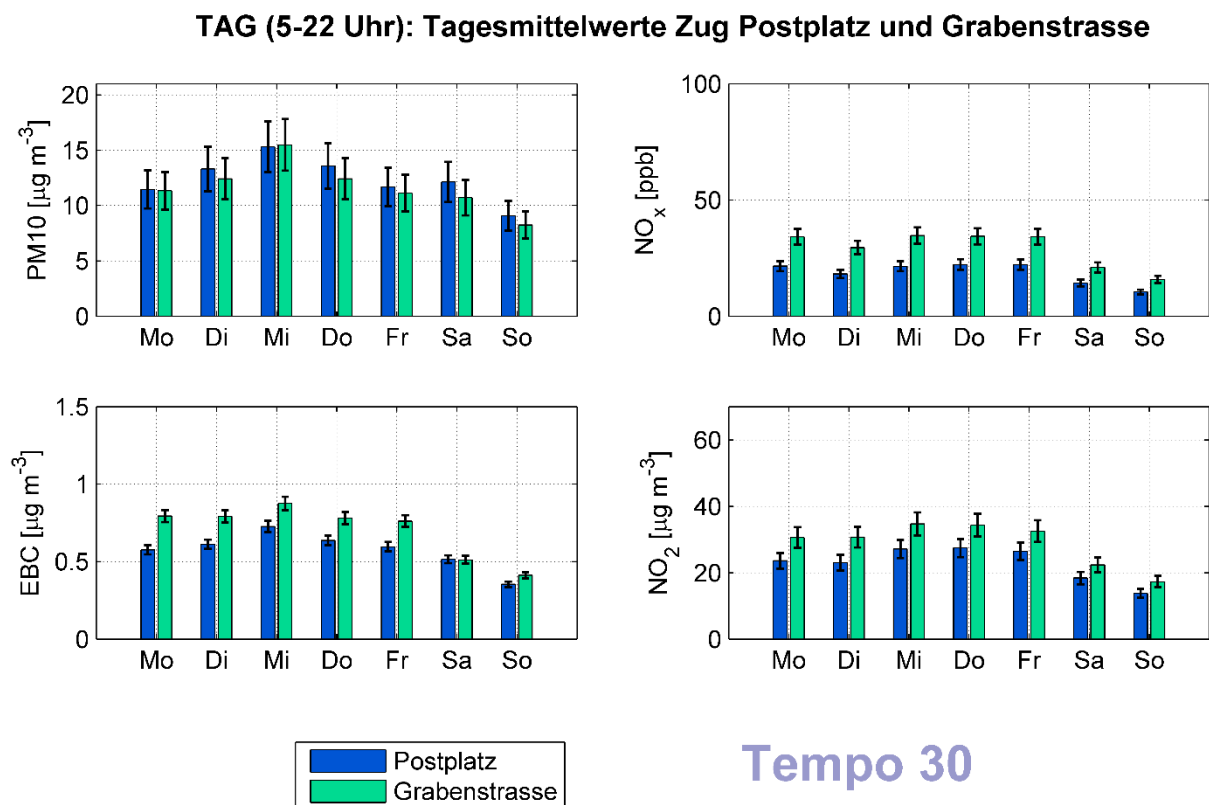
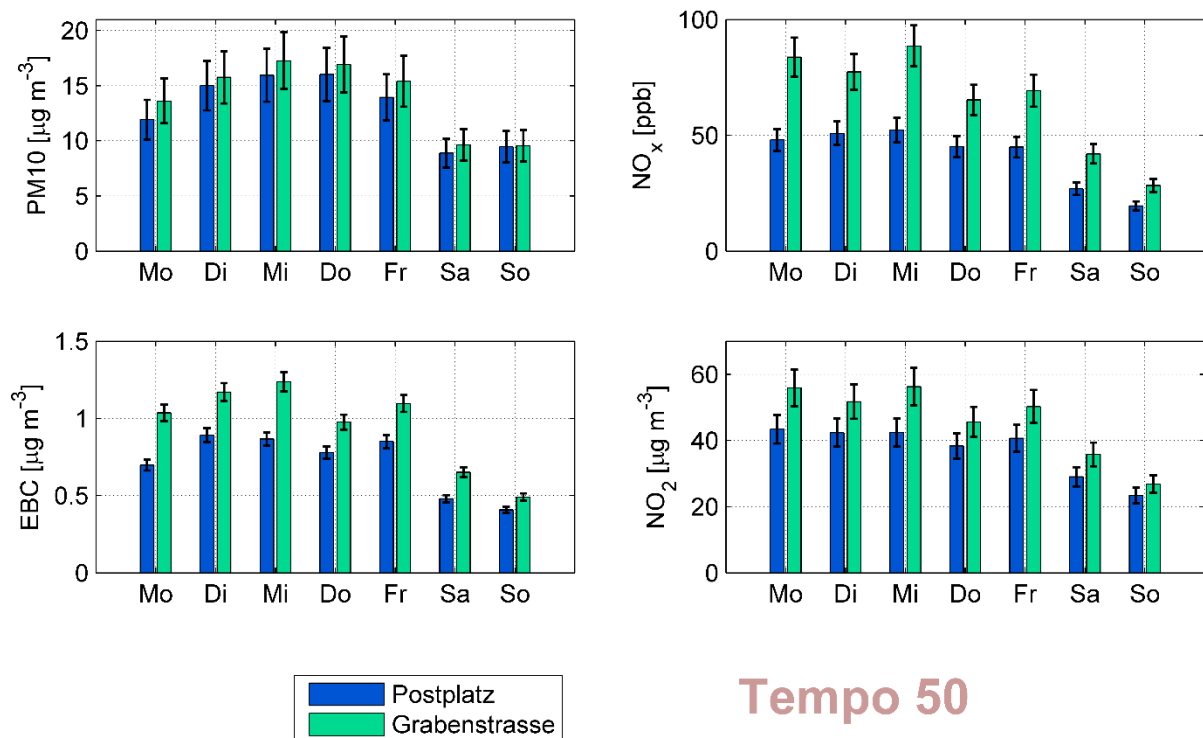


Abbildung 7: Durchschnittliche Tageswerte (5-22 Uhr) nach Wochentag für PM10, EBC, NO_x und NO_2 am Postplatz (blau) und der Grabenstrasse (grün) während der T30-Periode. Die Fehlerbalken entsprechen der Messunsicherheit, umgerechnet auf den jeweiligen Tageswert. Die Stichprobengrösse pro Balken liegt jeweils bei rund 400 Halbstundenwerten.

TAG (5-22 Uhr): Tagesmittelwerte Zug Postplatz und Grabenstrasse



Tempo 50

Abbildung 8: Durchschnittliche Tageswerte (5-22 Uhr) nach Wochentag für PM10, EBC, NO_x und NO₂ am Postplatz (blau) und der Grabenstrasse (grün) während der T50-Periode. Die Fehlerbalken entsprechen der Messunsicherheit, umgerechnet auf den jeweiligen Tageswert. Die Stichprobengröße pro Balken liegt jeweils bei rund 250 Halbstundenwerten.

Betrachtet man die absoluten Differenzen Grabenstrasse – Postplatz für die einzelnen Wochentage, unterschieden nach Tag (05-22 Uhr) und Nacht (23-04 Uhr des Folgetages) für T30 (Abbildung 9) und T50 (Abbildung 10), so kann genauer evaluiert werden, woher die in Kapitel 3.2 beschriebenen Unterschiede (EBC und PM10) zwischen T30 und T50 stammen. Optisch fällt auf, dass die Werte für PM10 (Tag und Nacht) bei T50 an der Grabenstrasse höher sind, als am Postplatz (positive Differenz). Bei T30 ist dies umgekehrt. Für PM10, EBC, NO_x und NO₂ wird deshalb, analog zu Kapitel 3.2, auch mit dem in Tag und Nacht aufgeteilten Datensatz ein t-Test (auf die relativen Differenzen, um den Einfluss der Saisonalität zu minimieren) durchgeführt. Dabei wird ersichtlich, dass der signifikante Unterschied beim PM10 bei Tag und Nacht besteht, beim EBC jedoch nur in der Nacht. Eine weitere Unterteilung in Werktagen und Wochenende zeigt, dass T30 und T50, werktags signifikant verschiedene relative Differenzen der PM10-Mittelwerte aufweisen, sowohl am Tag, wie auch in der Nacht. Am Wochenende (geringeres Verkehrsaufkommen) ist dieser Unterschied nicht signifikant. Beim EBC sind die Werte von T30 und T50 werktags, sowie am Wochenende nur in der Nacht signifikant verschieden. Für NO_x und NO₂ ist in keinem der erläuterten Fälle ein signifikanter Unterschied über die beiden Temporegimes feststellbar. Es muss hier angemerkt werden, dass die Resultate des t-Tests nur gelten, falls die Messwerte die Wahrheit darstellen. Die verwendeten Daten weisen aber Messunsicherheiten von 5 - 15 % auf (vgl. Tabelle 2).

Die Messunsicherheit beim PM₁₀ ist relativ gross (15 % auf den Tagesmittelwert), so dass die genannten Unterschiede im Bereich dieser Unsicherheit liegen (Bei einem Tagesmittelwert von 15 µg m⁻³ entspricht dies ±2.25 µg m⁻³, bei der Differenz zwischen zwei Werten (wie in Abbildung 9 und Abbildung 10) gar ±4.5 µg m⁻³). Die PM₁₀-Belastung wurde nicht mit dem Referenzverfahren (Kalibration mit HighVolume-Sampler Messung) gemessen, was zu der grossen Messunsicherheit führt. Ausserdem wurde in früheren Analysen⁹ festgehalten, dass PM₁₀ kein Leitparameter für das Verkehrsaufkommen ist. Aus all diesen Gründen wird im Folgenden zum PM₁₀ keine weitere Interpretation vorgenommen.

Die Differenzen zwischen der Grabenstrasse und dem Postplatz für T30 (Abbildung 9) und T50 (Abbildung 10) für EBC in der Nacht weisen unterschiedliche Vorzeichen auf, jedoch sind die Differenzen marginal. Auch hier gilt wieder, dass bei positiven Werten die Belastung an der Grabenstrasse höher ist als am Postplatz. Die Messunsicherheit übersteigt die Differenzen zwischen den Werten in Abbildung 9 und Abbildung 10, was dazu führt, dass zwischen den beiden Temporegimes keine signifikant messbaren Unterschiede in den gemessenen Luftimmissionen feststellbar sind. Tagsüber sind die absoluten Unterschiede zwischen der Grabenstrasse und dem Postplatz im Winter (T50), wie erwartet, grösser als im Sommer (T30). Beim NO_x und NO₂ ist dies ebenfalls schön zu sehen.

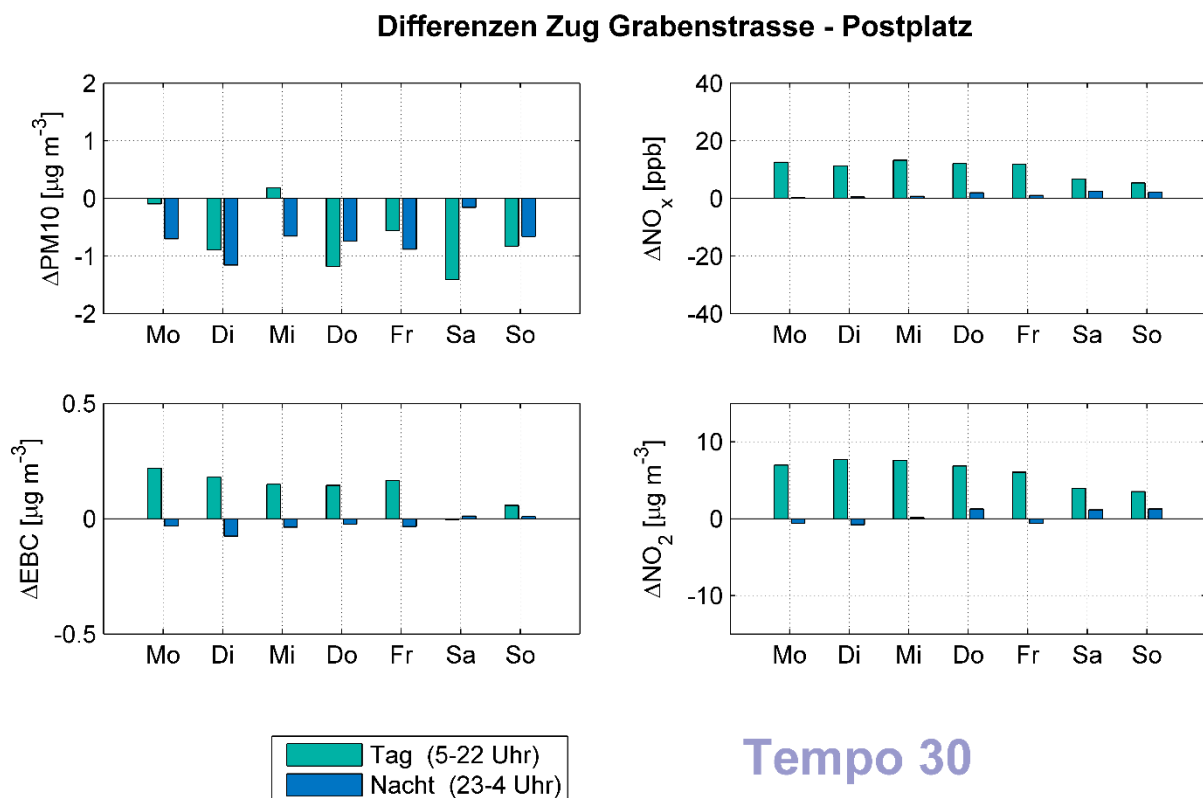
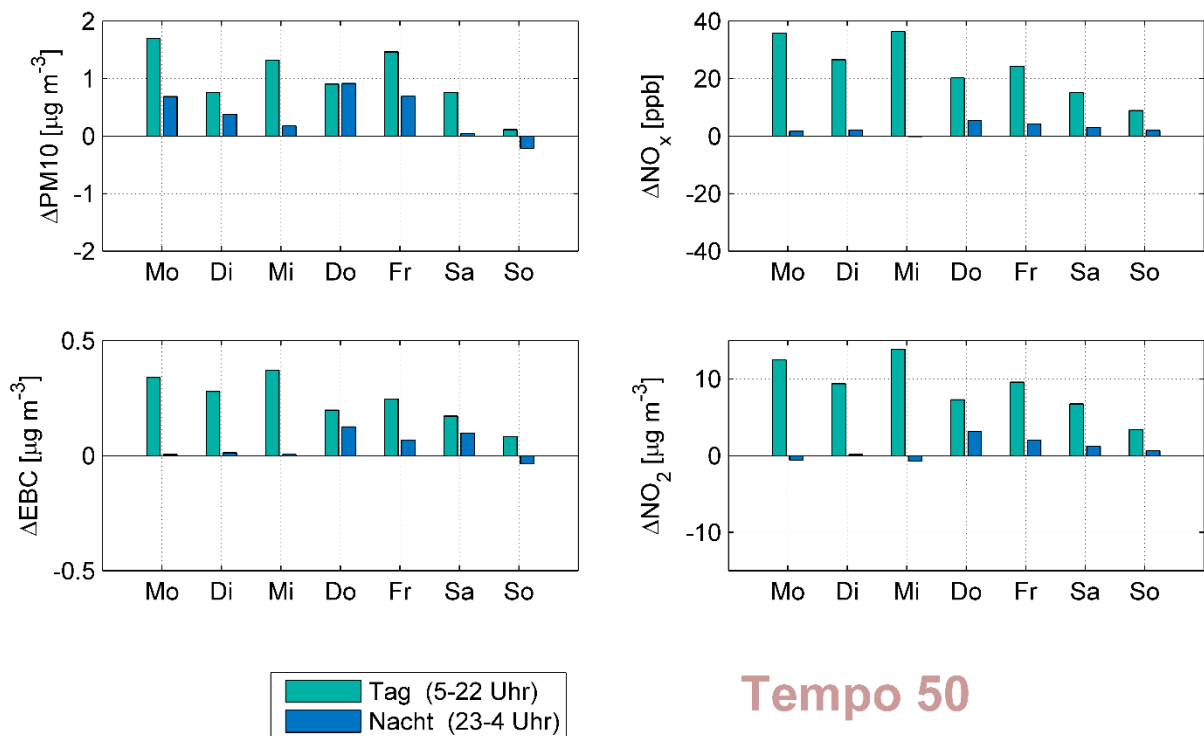


Abbildung 9: Mittlere absolute Differenzen (Grabenstrasse – Postplatz) je Wochentag, während Tempo 30, für Tag und Nacht, dargestellt für PM₁₀, EBC, NO_x und NO₂.

⁹ z.B. Jahresbericht inLUFT, 2016: http://www.in-luft.ch/pdf/detaillierte_messdaten/inluft_detailmessdaten_2016.pdf

Differenzen Zug Grabenstrasse - Postplatz



Tempo 50

Abbildung 10: Mittlere absolute Differenzen (Grabenstrasse – Postplatz) je Wochentag, aufgeteilt in Tag und Nacht, dargestellt für PM10, EBC, NO_x und NO₂ für den T50-Zeitraum.

3.4 Tagesgang

Abbildung 11 zeigt für die vier Luftschadstoffe die jeweiligen Tagesgänge für T30 (blau) und T50 (rot). Die 30min Werte wurden über alle Wochentage halbstundenweise gemittelt und die schwarzen Zahlen geben den jeweiligen Mittelwert über den gesamten Zeitraum an. Wie bereits gesehen, sind die Werte für T50 im Schnitt höher als für T30, der Jahreszeit entsprechend. Auffallend beim EBC, NO_x und NO₂ ist, dass bei T50 ein Peak am Morgen und am späten Nachmittag erkennbar ist. Dies ist auf den Arbeitsverkehr zurückzuführen. Bei T30 ist der zweite Peak nur sehr schwach ausgeprägt. Da die beiden Temporegimes zu verschiedenen Jahreszeiten stattgefunden haben, ist es wahrscheinlich, dass dies saisonal bedingt ist. T50 erstreckt sich über die kalten Monate November und Dezember. Die Sonneneinstrahlung ist gering und die atmosphärische Grundsicht häufig stabil geschichtet. Der T30-Versuch hingegen fand im Sommer statt. Die starke Sonneneinstrahlung vermag es im Laufe des Tages, die Morgeninversion wegzuheizen. Am Nachmittag ist deshalb die atmosphärische Grundsicht viel besser durchmischt, als am Morgen und die Schadstoffe verteilen sich über eine mächtigere Luftschicht (Verdünnung, der Peak «geht verloren»). Die beiden Verläufe für T30 und T50 scheinen leicht verschoben (z. B. sichtbar an den Vormittagsmaxima beim NO_x), eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass die Leute im Sommer früher aus dem Haus gehen, als im Winter (Zeitverschiebung wurde berücksichtigt, alle Zeitangaben sind in Lokalzeit).

Die beiden Kurven für T30 und T50 liegen jeweils in der Nacht näher zusammen, da das Verkehrsaufkommen dann sehr gering ist (vgl. Kapitel 4.1).

Tagesgang Luftschadstoffe Grabenstrasse (gemittelte 30min Werte, alle Tage)

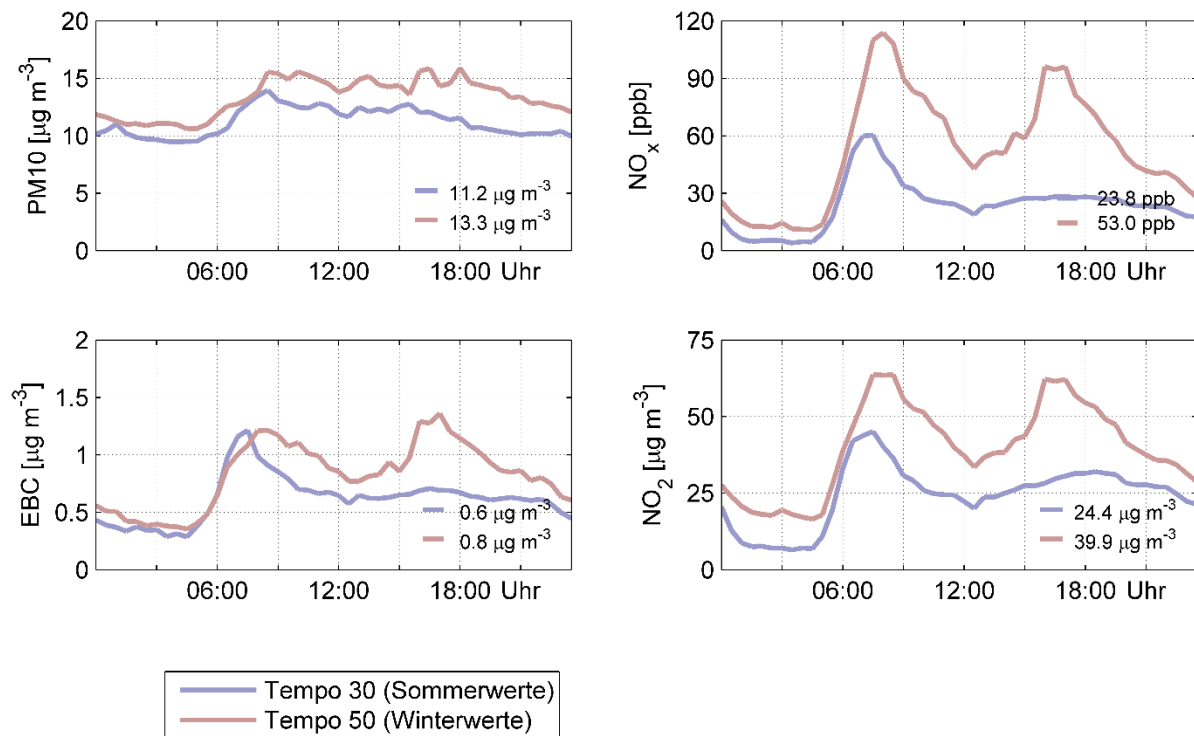


Abbildung 11: Mittlerer Tagesgang für PM10, EBC, NO_x und NO₂ an der Grabenstrasse für T30 (blau) und T50 (rot). Dazu wurden alle 30min Werte der jeweiligen Periode für die entsprechende Tageszeit gemittelt. Schwarze Werte entsprechen den jeweiligen Mittelwerten über die gesamten 24 Stunden.

Für den Postplatz sieht der Tagesverlauf ähnlich aus. Auch die Tagesverläufe, separiert nach Wochenende und Werktagen sind qualitativ ähnlich. Am Wochenende ist die Schadstoffbelastung tiefer und der Tagesverlauf weniger stark ausgeprägt als Werktagen, wie in Kapitel 3.3 ersichtlich.

Abbildung 12 zeigt die relative Differenz (Grabenstrasse:Postplatz) für die beiden Versuchsperioden T30 (blau) und T50 (rot). Auf PM10 wird hier nicht weiter eingegangen (vgl. Abschnitt 3.3). Bei den drei anderen Luftschadstoffen ist der Tagesgang auch in den relativen Differenzen zu erkennen. Dies liegt daran, dass das Verkehrsaufkommen in der Nacht sehr gering ist. Zwischen T30 und T50 gibt es keine signifikanten Unterschiede, in Anbetracht der Messunsicherheit.

Relative Differenz Tagesgang Grabenstrasse:Postplatz (gemittelte 30min Werte, alle Tage)

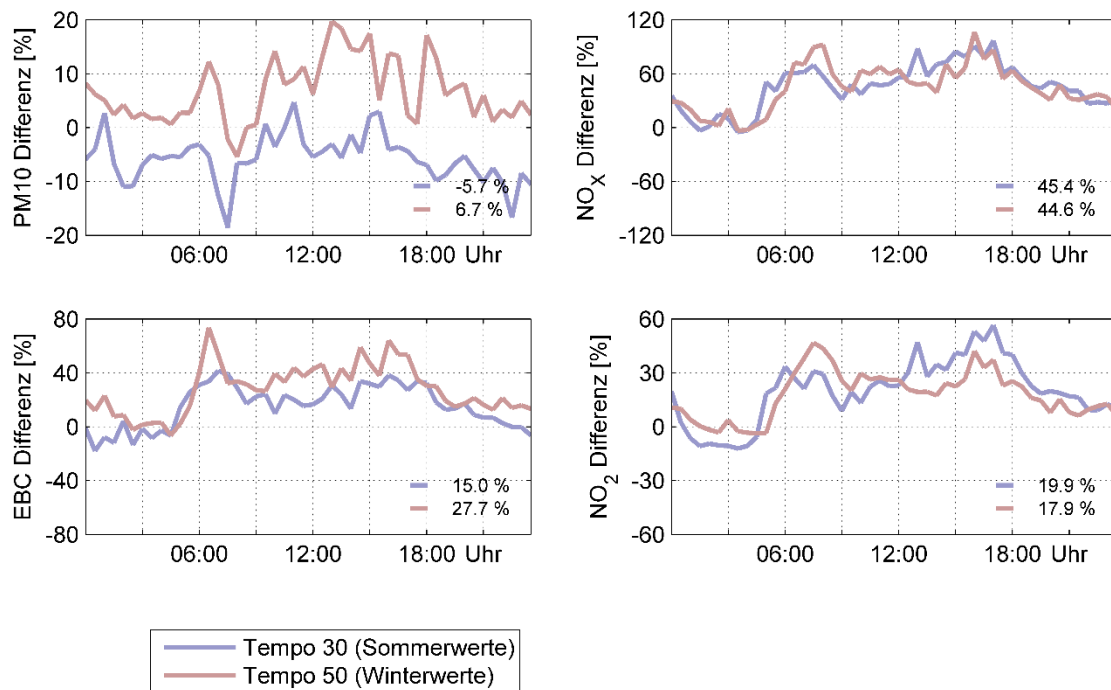


Abbildung 12: Mittlerer Tagesgang der Abweichung des Messwerts an der Grabenstrasse von demjenigen am Postplatz für PM10, EBC, NO_x und NO₂ für T30 (blau) und T50 (rot) in Prozent. Unten rechts sind die jeweiligen Mittelwerte über die gesamte Periode angegeben (schwarz).

3.5 Einfluss Wind

Für die folgenden Windrosen wurden Daten der SwissMetNet Station (MeteoSchweiz) in Cham verwendet. Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden auf 10 m gemessen. Die 10min Werte wurden zu 30min Werten gemittelt, um besser mit den Luftschadstoffdaten verglichen zu werden. Es wird angenommen, dass in Zug ähnliche grossräumige Windverhältnisse herrschen, wie in Cham (vgl. Abbildung 2).

Während der T30 Periode war die Hauptwindrichtung in Cham aus Nordwesten (Abbildung 13, links Tag, rechts Nacht). Am Tag (05-22 Uhr) kamen auch verbreitet Südostwinde vor und die Windgeschwindigkeit ist im Schnitt höher als in der Nacht (23-04 Uhr).

Windrichtungen Cham (24.06.2017 - 12.09.2017, 30min Werte)

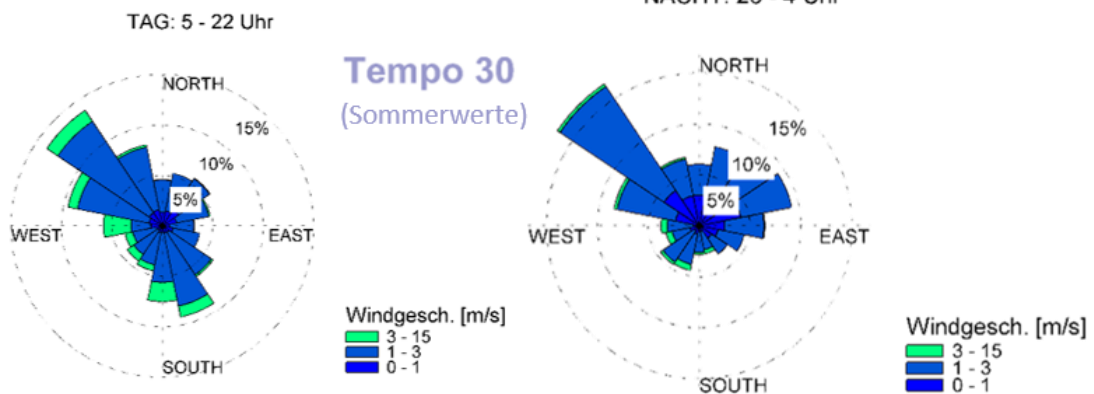


Abbildung 13: Windrosen für Cham bei Tag (links) und Nacht (rechts) während der T30 Periode.

Bei der T50 Periode sieht die Verteilung anders aus (Abbildung 14, links Tag, rechts Nacht). Es dominieren Südwestwinde und die Windgeschwindigkeiten zwischen Tag und Nacht unterscheiden sich nicht bemerkbar. Im Vergleich zu T30 blies der Wind öfter frische Seeluft herbei.

Windrichtungen Cham (12.11.2017 - 31.12.2017, 30min Werte)

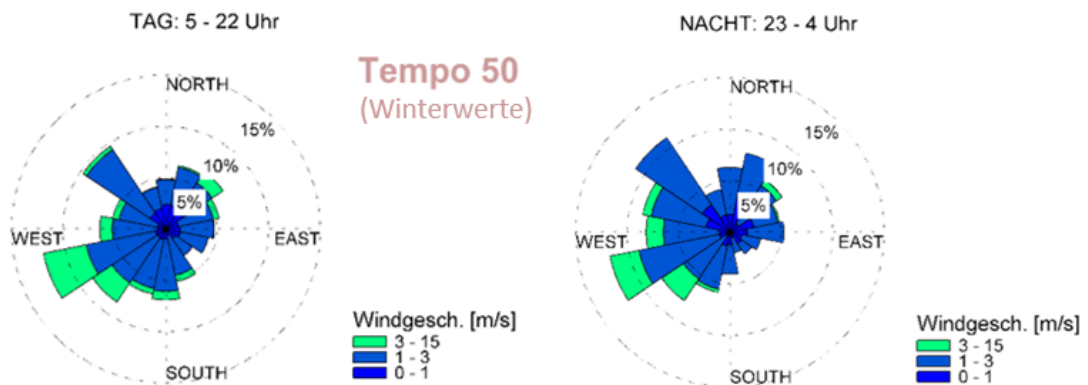


Abbildung 14: Windrosen für Cham bei Tag (links) und Nacht (rechts) während der T50 Periode.

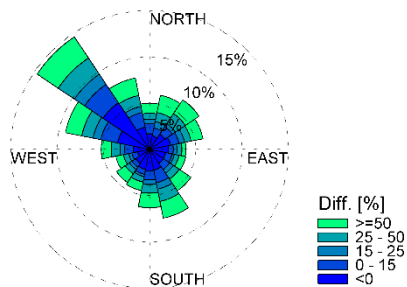
Aufgrund dieser Unterschiede wurde die Differenz der Luftimmissionswerte von Zug Grabenstrasse und Postplatz in Abhängigkeit der Windrichtung analysiert. Es konnte kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden, wie im Folgenden kurz erläutert wird. Deshalb wird die Windrichtung in der Auswertung der Luftschadstoffmessungen nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 15 zeigt die relative Differenz Grabenstrasse:Postplatz für EBC, nach Windrichtung. Die linke Windrose ist für den T30-Zeitraum, die Rechte für T50. In Abbildung 16 ist dies analog für NO_x dargestellt. Unabhängig der Windrichtung sind die Anteile der relativen Differenzen ähnlich gross. Die relativen Abweichungen sind bei Nordostwind im Winter (T50) tendenziell etwas grösser. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Bise häufig mit Inversionslagen verbunden ist, bei welchen sich die Schadstoffe akkumulieren. Aufgrund der Windrichtung wird keine frische Seeluft beigemischt. Da in Abbil-

dung 15 relative Differenzen gezeigt werden, scheinen die Auswirkungen dieses Effekts an der Grabenstrasse stärker zu sein, als am Postplatz. Die Erklärung dafür ist wiederum die Nähe der Messstation zum Verkehr.

Relative Differenz EBC (Grabenstrasse:Postplatz) nach Windrichtung

24.06.2017 - 12.09.2017, 30min Werte



12.11.2017 - 31.12.2017, 30min Werte

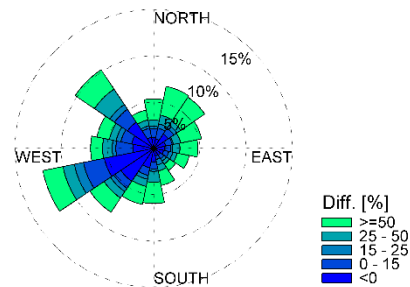
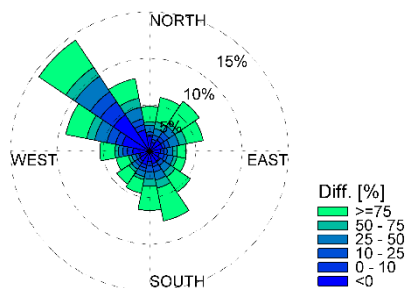


Abbildung 15: Abweichung der EBC-Messwerte an der Grabenstrasse von den dazugehörigen Messwerten am Postplatz in % nach Windrichtung. Links für T30, rechts T50.

Für NO_x sind ebenfalls bei Nordostwind die grossen Abweichungen etwas häufiger (verglichen mit den anderen Windrichtungen), im Sommer (T30), sowie im Winter (T50). Da die Häufigkeit von nordöstlichen Winden bei den beiden Zeitperioden etwa gleich gross ist, kann dies vernachlässigt werden. Die Klimatologie der Inversionen ist saisonal bedingt und hängt nicht vom Verkehr ab.

Relative Differenz NO_x (Grabenstrasse:Postplatz) nach Windrichtung

24.06.2017 - 12.09.2017, 30min Werte



12.11.2017 - 31.12.2017, 30min Werte

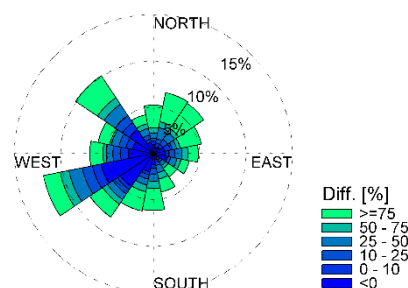


Abbildung 16: Abweichung der NO_x -Messung an der Grabenstrasse von derjenigen am Postplatz in %, nach Windrichtung. Links für T30, rechts T50.

Bei einer höheren Windgeschwindigkeit ist die Grundsicht besser durchmischt und der Schadstoffgehalt wird verdünnt. Da jedoch für den analysierten Zeitraum nur wenige, kurze Zeitpunkte mit auffrischem Wind und keine Starkwindperioden vorlagen, wurde dies nicht in die Auswertung einbezogen.

3.6 Spezielle Events

Am Sonntag, 10. Dezember 2017 war die Grabenstrasse von ca. 12:00 bis 18:00 Uhr gesperrt (Grund: MärliSonntag). Dieser Tag wird deshalb in Abbildung 17 mit dem Tagesgang eines durchschnittlichen Sonntags für PM_{10} , EBC, NO_x und NO_2 bei T50 (Strassensperrung fällt in die T50-Periode) verglichen.

Die vier Grafiken links zeigen die Tagesverläufe der vier gemessenen Luftschadstoffe an der Grabenstrasse, die rechten dasselbe für den Postplatz. Letztere Grafiken dienen als Anhaltspunkt, da sich ein einzelner Tag natürlich vom Mittel unterscheidet. Am 10. Dezember 2017 brachte eine Warmfront Schnee und später Regen. In den Alpentälern wehte starker Föhn¹⁰. Verglichen mit dem Postplatz, ist die Strassensperrung in der Grabenstrasse nicht erkennbar. Ein schwacher Hinweis auf die Sperrung scheint sich beim Verkehrsleitparameter NO_x zu finden. Die Schwankungen werden jedoch durch lokale Ereignisse beeinflusst, ebenso muss die Messunsicherheit berücksichtigt werden. Ein einzelner Wert (z. B. der Peak im PM_{10} am Postplatz, beispielsweise durch ein stehendes Fahrzeug mit laufendem Motor verursacht) genügt nicht, um eine allgemeine Aussage zu machen.

Folglich kann anhand dieser einzelnen Sperrung keine gesicherte Aussage über eine messbare Belastungsänderung gemacht werden.

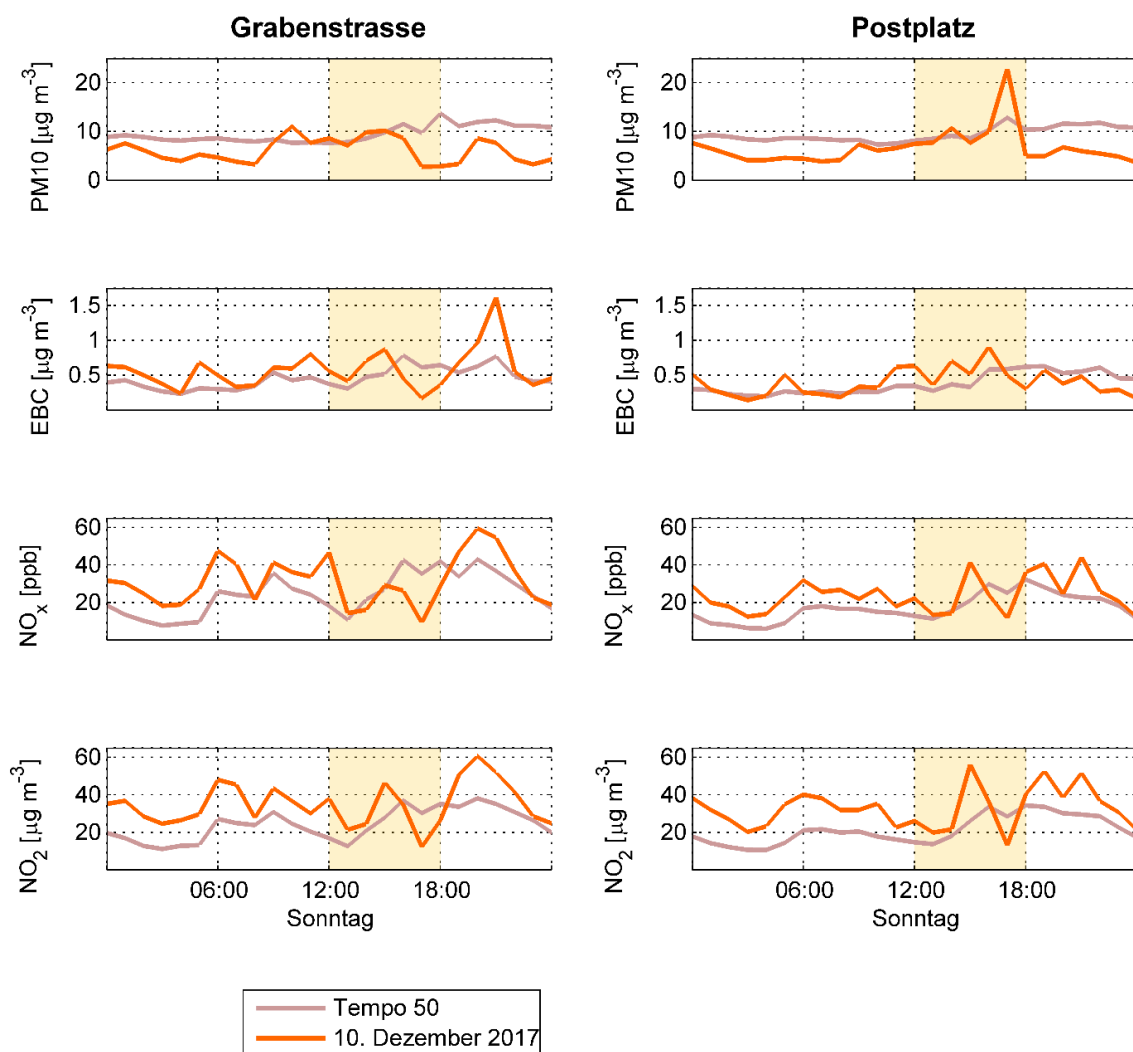


Abbildung 17: Tagesgang der Luftschadstoffe (stündlich gemittelt) PM_{10} , EBC, NO_x und NO_2 an der Grabenstrasse (links) und Postplatz (rechts), sonntags, für T50 und den 10. Dezember 2017. Gelb hinterlegt ist der ungefähre Zeitraum der Strassensperrung (ca. 12-18 Uhr).

¹⁰ <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog/meteoschweiz-blog.sub-page.html/de/data/blogs/2017/12/foehnsturm-und-schnee.html>

4 Interpretation

4.1 Verkehrsaufkommen und Vergleich mit Emissionsberechnungen

Im Kurzbericht der Emissionsszenarien für die Grabenstrasse in Zug¹¹, welcher vor dem T30-Versuch erstellt wurde, wurden folgende Prognosen festgehalten: Bei einer Reduktion des Tempolimits ist von einer Zunahme der Emissionen auszugehen. Diverse Varianten des Verkehrsflusses bestätigen dies. Eine für die Grabenstrasse realistische Variante prophezeit beim NO_x eine Emissionszunahme von 22%, beim NO₂ +20 % und +19 % beim PM. Diese Zunahme konnte mit den vorliegenden Luftimmissionsmessungen nicht festgestellt werden, ebenso nicht das Gegenteil.

Aus dem Bericht «Kantonsstrasse 25, Lärmsanierung Grabenstrasse, Zug, Versuch Tempo 30»¹² von Basler&Hofmann geht hervor, dass das Verkehrsaufkommen in der Nacht sehr gering ist, bei T30 und T50. In den frühen Morgenstunden wurden in beide Richtungen beinahe keine Fahrzeuge gezählt. Ab ca. 4 Uhr steigt die Anzahl Fahrzeuge rasant an. In Fahrtrichtung Kolin wird eine Spitze von knapp 600 Fahrzeugen pro Stunde um ca. 6.30 Uhr erreicht, in Fahrtrichtung Casino sind es ca. 450 Fahrzeuge pro Stunde. Tagsüber schwankt das Verkehrsaufkommen in beide Richtungen um 500 Fahrzeuge pro Stunde, bevor es nach der Abendspitze (rund 700 Fahrzeuge pro Stunde um ca. 18.30 in Fahrtrichtung Casino) wieder zurückgeht. Den unterschiedlichen Ausprägungen der lokalen Maxima liegt der Pendlerverkehr zugrunde. Vormittags fahren Pendler nach Zug, am Nachmittag wieder nach Hause. Zwischen den beiden Zeitperioden sind kaum Unterschiede feststellbar. Die Zählungen beziehen sich auf Werktage.

Die Darstellungen in Abbildung 18 stammen aus dem Bericht¹² von Basler&Hofmann und zeigen Tagesverläufe der mittleren Geschwindigkeit in beide Fahrtrichtungen für T30 und T50. Schön zu sehen ist, dass bei T50 während des Tages aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens nur eine Geschwindigkeit von ca. 25-30 km/h erreicht wird. Dies bleibt auch bei T30 so. In der Nacht und am Wochenende gibt es jedoch einen Unterschied in der tatsächlich erreichten Maximalgeschwindigkeit. Mit T50 liegt diese bei ca. 45 km/h und mit T30 unter 35 km/h. Diese Tatsache verdeutlicht, dass es für diesen Standort nicht möglich ist, Unterschiede in der Immissionsbelastung für die Tempi T30 und T50 zu finden. In der Nacht gibt es Unterschiede bei den erreichten Geschwindigkeiten, da das Nachtverkehrsaufkommen jedoch so gering ist, sind die Auswirkungen mit den Immissionsmessungen nicht festgehalten worden.

¹¹ Kurzbericht: Emissionsszenarien Grabenstrasse Zug, inNET Monitoring AG, 2017

¹² Basler&Hofmann AG, 2018, Bericht-Nr. 6049.000 Vers. 0, verfasst von U.Huwer, S.Nigg, M.Weber und A.Vidal

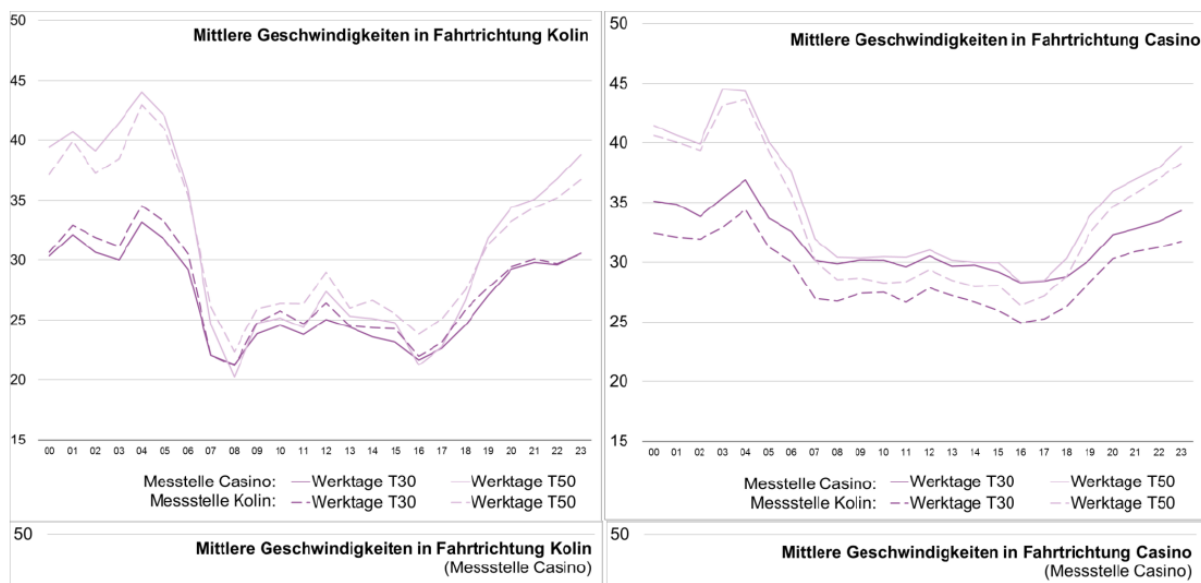


Abbildung 18: Mittlere Geschwindigkeiten an der Grabenstrasse in beide Richtungen (links: Fahrtrichtung Kolin, rechts: Fahrtrichtung Casino), werktags, jeweils für T30 und T50 an zwei Messstellen. (Quelle: Basler&Hofmann, 2018¹²)

4.2 Fazit: Einfluss Tempobeschränkung auf Immissionsbelastung

Aus den in Kapitel 3 diskutierten Resultaten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Luftschadstoffbelastung bei T30 und T50 ist sehr ähnlich.
- Es können keine signifikanten Unterschiede in der Luftschadstoffbelastung bei den beiden Temporegimes festgehalten werden.
- Vorhandene Schwankungen sind stark von der Meteorologie beeinflusst.
- Zudem ist die Messunsicherheit (besonders beim PM₁₀) verhältnismässig gross.

Es kann kein Unterschied zwischen den beiden Temporegimes, in Bezug auf die Luftqualität, festgehalten werden. Dazu muss aber angemerkt werden, dass die Messperioden jeweils nur wenige Wochen andauerten, dies zu unterschiedlichen Jahreszeiten, und die Maximalgeschwindigkeit bei T50 faktisch ähnlich wie bei T30 war.

Die hier gemachten Aussagen sind für den Standort Zug, Grabenstrasse und es kann daraus keine allgemeine Gültigkeit abgeleitet werden.

Anhang 1 Qualitätssicherung

A 1.1 Datenqualität

Während des betrachteten Zeitraumes liegen Zeitpunkte vor, zu denen an der Grabenstrasse extreme Ausreisser in einem Messparameter vorkommen. Bei diesen macht ein Vergleich mit dem Postplatz nicht viel Sinn. Grund dafür kann z. B. ein Lastwagen sein, welcher längere Zeit mit laufendem Motor stehen geblieben ist.

Nicht berücksichtigt wurden deshalb folgende Daten:

NO_x-Peak vom 24. Juni 2017

NO_x-Ausschläge während etwa einer Stunde. PM10 reagiert nicht. Um 02:30 Uhr und 03:00 Uhr werden NO_x-Werte von 1099 ppb und 430 ppb erreicht. Für diesen Zeitraum wurden deswegen die NO₂ und NO_x-Werte an der Grabenstrasse nicht verwendet.

EBC-Peak vom 24. Juni 2017

EBC-Ausschlag in der Grabenstrasse um 13:00 Uhr. Dieser Wert wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt.

PM10-Peak vom 1. Juli 2017

PM10-Ausschläge während ca. 2 Stunden. NO_x reagiert nur minim, Zug Postplatz nicht. Die PM10-Messung wurde deshalb für die Zeitspanne von 08:30 bis 10:00 an der Grabenstrasse eliminiert.

PM10-Peak vom 28. Juli 2017

PM10-Ausschläge während ca. 1.5 Stunden, NO_x ist ebenfalls hoch und Zug Postplatz reagiert leicht. Gefiltert wurden von 09:30 bis 10:30 folgende Messungen: PM10, NO_x und NO₂ an der Grabenstrasse und am Postplatz.

PM10-Peak vom 23. November 2017

PM10-Ausschlag in der Grabenstrasse um 09:00 Uhr. Dieser Wert wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt.

EBC-Peak vom 23. August 2017

EBC-Ausschlag am Postplatz um 02:00 Uhr. Dieser Wert wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Tabelle 4 zeigt die gefilterten Ausreisser tabellarisch.

Tabelle 4: Übersicht der in diesem Bericht nicht berücksichtigten Ausreisser (rot markiert).

	Zug_Grabenstrasse	Zug_Grabenstrasse	Zug_Grabenstrasse	Zug_Grabenstrasse	Zug_Postplatz	Zug_Postplatz	Zug_Postplatz	Zug_Postplatz
	PM10	EBC	NOx	NO2	PM10	EBC	NOx	NO2
	µg/m3	µg/m3	ppb	µg/m3	µg/m3	µg/m3	ppb	µg/m3
24.06.2017 02:00	29.43	0.85	13.98	19.93	29.01	1.03	9.57	16.29
24.06.2017 02:30	26.60	0.93	1099.33	1359.13	28.88	1.10	10.90	18.56
24.06.2017 03:00	28.01	1.02	430.47	579.38	27.96	1.04	9.90	17.60
24.06.2017 03:30	28.18	0.93	7.50	11.94	26.97	0.69	6.15	11.29
24.06.2017 12:30	29.00	1.15	49.87	52.33	26.77	0.67	14.11	22.31
24.06.2017 13:00	28.58	12.66	36.10	33.60	26.20	0.77	16.01	23.51
24.06.2017 13:30	27.95	1.00	11.96	16.13	26.93	1.06	16.41	24.09
01.07.2017 08:00	2.45	0.07	3.66	5.30	2.97	0.07	3.46	5.50
01.07.2017 08:30	40.92	0.12	6.05	7.27	3.49	0.12	6.40	7.29
01.07.2017 09:00	1.61	0.16	8.35	9.29	3.06	0.12	5.99	7.63
01.07.2017 09:30	66.86	0.17	6.97	8.63	3.79	0.13	10.06	10.08
01.07.2017 10:00	32.35	0.11	6.03	6.89	3.57	0.11	6.51	7.63
01.07.2017 10:30	2.19	0.13	7.11	7.73	3.00	0.15	4.19	5.11
28.07.2017 09:00	4.25	0.67	53.45	45.07	4.84	1.01	41.57	47.15
28.07.2017 09:30	92.93	0.96	75.55	60.61	6.20	0.74	49.31	56.18
28.07.2017 10:00	25.92	1.17	87.85	66.30	8.85	0.68	33.72	40.21
28.07.2017 10:30	7.65	1.23	85.18	63.38	11.46	0.57	35.32	40.73
28.07.2017 11:00	7.76	1.06	59.38	50.17	10.16	0.59	33.33	37.79
23.08.2017 01:30	9.54	0.46	3.43	6.32	14.67	2.73	5.40	9.84
23.08.2017 02:00	9.60	0.60	3.27	5.91	49.66	16.87	7.40	13.00
23.08.2017 02:30	18.30	3.63	6.00	10.39	55.72	4.57	11.23	20.54
23.11.2017 08:30	51.34	2.31	180.51	79.90	30.15	2.42	154.93	66.19
23.11.2017 09:00	116.37	3.15	166.07	78.21	30.85	1.97	139.64	63.43
23.11.2017 09:30	23.30	2.02	108.09	57.26	34.32	1.53	133.01	61.43

A 1.2 Vergleichsmessungen EBC

Vom 4. – 29. Oktober 2017 stand das EBC-Messgerät AE33, welches für die Versuche an der Grabenstrasse stationiert war, für Vergleichsmessungen am Postplatz. Die beiden Messreihen der Parallelmessung von EBC werden verglichen, um sicher zu gehen, dass die Geräte gleich kalibriert sind.

Abbildung 19 zeigt einen Scatterplot der beiden Messungen. Der lineare Korrelationskoeffizient liegt bei 0.98 und eine lineare Regression bestätigt die Vergleichbarkeit der beiden Messungen. Die Steigung beträgt 1.02 und der Achsenabschnitt 0.00. Die Daten können also ohne weitere Kalibration für den Vergleich verwendet werden.

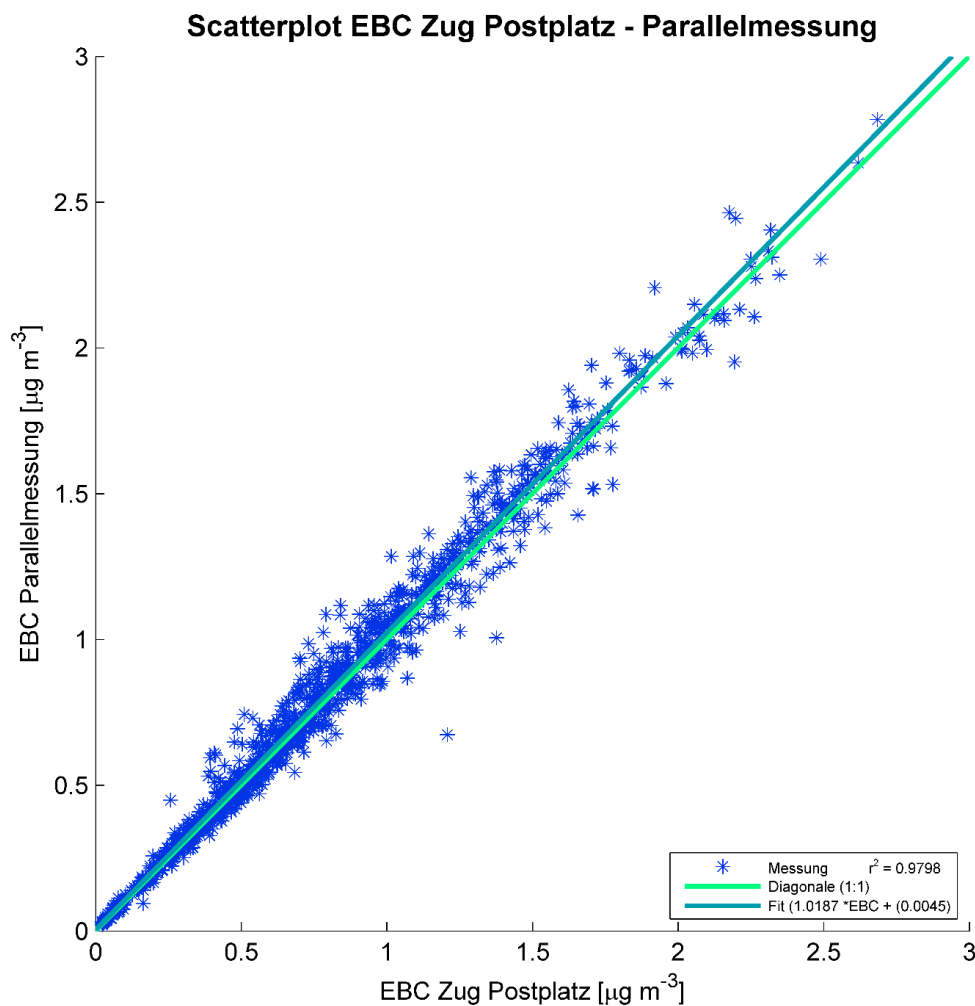


Abbildung 19: Scatterplot der beiden EBC-Messungen am Postplatz vom 04. - 29. Oktober