

RUSSMESSUNGEN LUZERN MOOSSTRASSE



**Immissionsbelastung während und nach Gesamterneuerung
Cityring Luzern (Messperiode 2012 bis 2013)**

Altdorf, 05.11.2014

IMPRESSUM

Auftraggeber:

uwe Luzern
Libellenrain 15
6004 Luzern

Projektbearbeitung und Bericht:

Christian Ruckstuhl
Susanne Bieri
inNET Monitoring AG
Dätwylerstrasse 15
6460 Altdorf

Projektleitung:

Urs Zihlmann
uwe Luzern

Titelbild:

Plakat Cityringsperrung, www.cityring.ch

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|--------|
| 1 | Einleitung..... | - 3 - |
| 2 | Messgrössen..... | - 5 - |
| 2.1 | Überblick | - 5 - |
| 2.2 | Immissionsmessungen | - 6 - |
| 2.3 | Verkehrszählung..... | - 7 - |
| 2.4 | Sperrzeiten | - 8 - |
| 3 | Meteorologische Bedingungen | - 9 - |
| 4 | Messresultate | - 10 - |
| 4.1 | Langjähriger Verlauf der Immissions-situation in der Stadt Luzern | - 10 - |
| 4.2 | Überblick Immissionsmessdaten..... | - 11 - |
| 4.3 | Tagesgänge Verkehr | - 12 - |
| 4.4 | Tagesgänge Immissionen | - 16 - |
| 4.5 | Immissionsbelastung während Tunnelsperrungen | - 18 - |
| 4.6 | Vergleich Luzern Moosstrasse – Sedel | - 19 - |
| 4.6.1 | Exkurs Vergleich der Russbelastung Luzern Moosstrasse und Sedel im 2014..... | - 21 - |
| 4.7 | Jahresmittel 2012 und 2013 | - 23 - |
| 4.8 | Verkehrszusammensetzung | - 24 - |
| 5 | Zusammenfassung..... | - 28 - |
| 6 | Anhang | - 30 - |
| 6.1 | Tabellen Cityring-Sperrungen..... | - 30 - |
| 6.2 | Vergleich EC/OC mit BC in Reiden | - 34 - |

1 Einleitung

Von 2009 bis 2013 wurde die A2 im Raum Luzern erneuert, um die Strassen und Tunnels wieder auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen. Die Arbeiten erfolgten unter dem Projektnamen „A2 Gesamterneuerung Cityring Luzern“. Die Hauptarbeiten wurden von 2011 bis 2012 ausgeführt und fanden vorwiegend nachts und an ausgewählten Wochenenden statt.¹

Im Rahmen der Gesamterneuerung wurde auch der Sonnenbergtunnel überholt. Für die Sanierungsmassnahmen im Sonnenbergtunnel wurde der Tunnel in den Jahren 2010 bis 2012 mit unterschiedlichen Fahrregimes betrieben. Diese umfassten Vollsperrungen, Sperrungen in eine Richtung und das Offenhalten des Tunnels in beiden Fahrtrichtungen (teilweise mit Gegenverkehr). An Wochenenden fanden Vollsperrungen Richtung Norden während des Jahres 2011 und Richtung Süden während des Jahres 2012 statt. Unter der Woche fanden von 2010 bis 2013 Vollsperrungen statt. Während der Sperrungen wurde der Verkehr durch die Stadt Luzern über die Obergrundstrasse umgeleitet. Es wurde damit gerechnet, dass aufgrund der Verkehrsverlagerung eine deutlich höhere Immissionsbelastung entlang der Ausweichroute vorherrschen könnte. Insbesondere wurde befürchtet, dass sich dies in den Russimmissionen widerspiegeln könnte. Letzteres ist besorgniserregend, da Dieselmotoren gemäss Weltgesundheits-Organisation (WHO) als erwiesenermassen krebserregend einzustufen ist.² In der Luftreinhalteverordnung (LRV) gilt für Russ das Minimierungsgebot und es gibt daher keinen Grenzwert. Die Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL) fordert als Zwischenziel, dass an quellennahen Standorten die Russ- bzw. EC-Konzentration³ innerhalb der nächsten 10 Jahre auf maximal 20 % der heutigen Werte gesenkt wird. Als langfristiges Schutzziel soll gemäss EKL-Empfehlung $0.1 \mu\text{g m}^{-3}$ im Jahresmittel nicht überschritten werden.⁴

Aufgrund dieser Tatsachen hat die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Luzern die inNET Monitoring AG beauftragt, ab dem Jahr 2012 an der in-LUFT-Messstation Luzern Moosstrasse (bei der Obergrundstrasse) zusätzlich zu den NO_x - und Feinstaubmessungen (PM10) ein Russmonitoringgerät (Aethalometer) zu betreiben. Die in-LUFT-Messstation Luzern Moosstrasse steht repräsentativ für einen stark verkehrsbelasteten Standort in der Stadt Luzern. Aufgrund ihrer Lage zur Obergrundstrasse kann sie verwendet werden, um die Immissionen aufgrund der temporären Verkehrsregimes infolge der Tunnelsperrungen zu erfassen. Im Vergleich zu den anderen in-LUFT-Messstationen ist die Immissionsbelastung an dieser Messstation deutlich erhöht. Sowohl die PM10- als auch die NO_2 - Jahresmittelgrenzwerte gemäss LRV werden deutlich überschritten.^{5,6}

Nebst der Russmessung an der Messstation Luzern Moosstrasse wird seit Ende 2013 aufgrund der aktuellen Diskussionen (Toxizität von Russ, Einfluss von Holzfeuerungsanlagen, Einfluss von Verkehr) zusätzlich an der in-LUFT-Messstation auf dem Sedel ein Aethalometer betrieben. Im vorliegenden Schlussbericht werden die Immissionsmessdaten der Jahre 2012 und 2013 mit Fokus auf die Russ-

¹ <http://www.astra.admin.ch/autobahnschweiz/01337/01341/01343/index.html?lang=de> [Stand: 28.05.2014]

² http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf [Stand: 25.05.2014]

³ EC = Elemental Carbon, siehe auch Kapitel 2.2

⁴ Feinstaub in der Schweiz 2013. Statusbericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), 2013

⁵ Entwicklung der Luftbelastung in der Zentralschweiz, Auswertung der in-LUFT-Messdaten von 1999 bis 2011, inNET Monitoring AG, 2013

⁶ Luftbelastung in der Zentralschweiz, Detaillierte Messdaten 2013, ZUDK, 2014

messungen im Zusammenhang mit den Verkehrsdaten umfassend ausgewertet. Der Einfluss der Tunnelsperrung auf die Verkehrs- und Immissionsbelastung im Jahr 2012 wurde in einem Zwischenbericht untersucht.⁷ Die wichtigsten Resultate des Zwischenberichts sind im vorliegenden Schlussbericht ebenfalls enthalten. Abschliessend werden die bereits vorhandenen Messdaten vom Sedel mit den Russdaten der Messstation Luzern Moosstrasse verglichen.

⁷ Russmessungen Luzern Moosstrasse, Zwischenbericht Messperiode 2012, inNET Monitoring AG, 2013

2 Messgrößen

2.1 Überblick

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Verkehrsführung während der Sperrungen des Sonnenbergtunnels, den Standort der Immissionsmessstation Luzern Moosstrasse (blauer Punkt) und die grobe Lage der Verkehrszähler an der Obergrundstrasse (grüner Kreis).

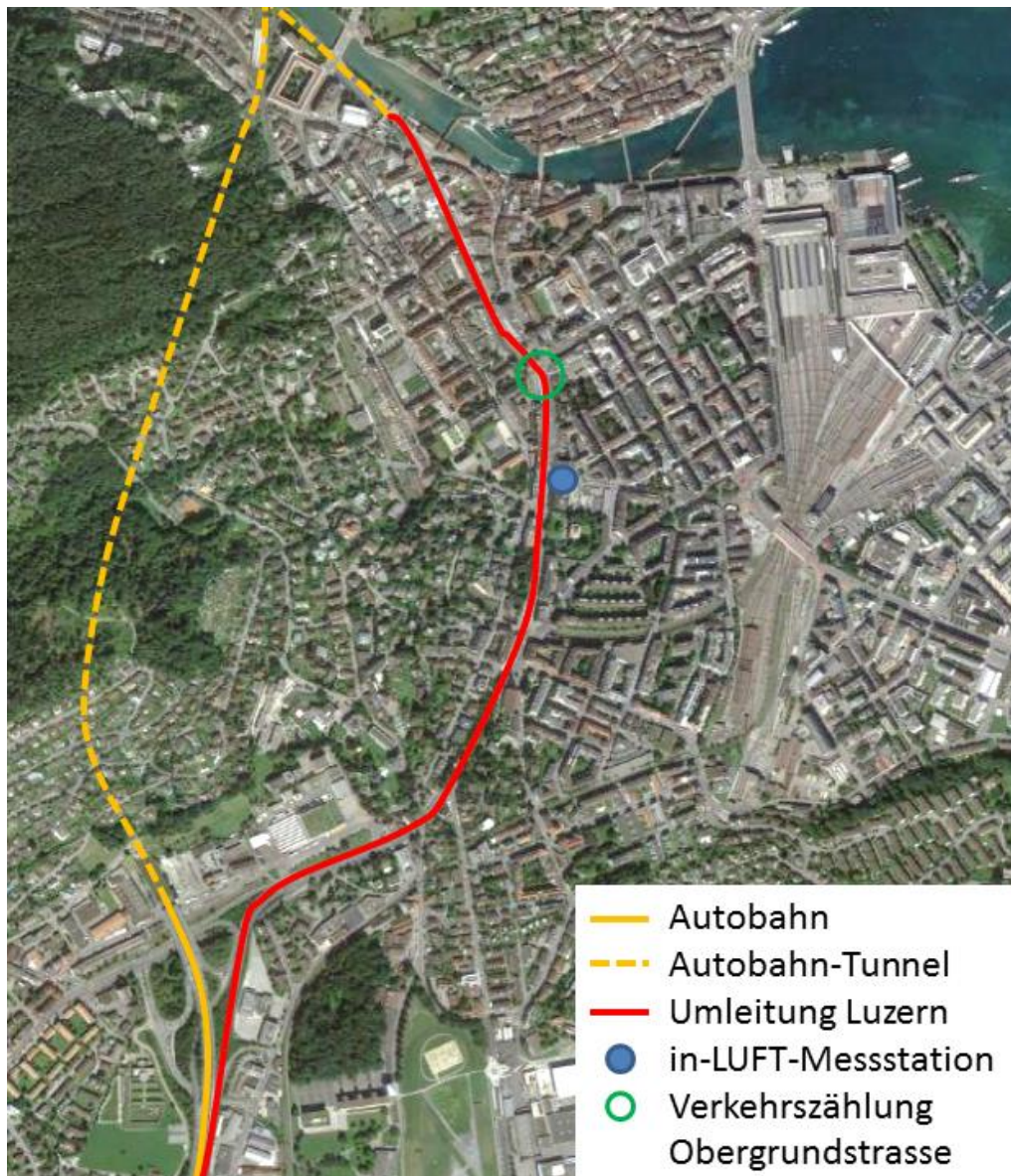


Abbildung 1: Überblick Verkehrssituation Cityring, in-LUFT-Immissionsmessstation an der Moosstrasse und Verkehrsmessstelle an der Obergrundstrasse

2.2 Immissionsmessungen

Die Immissionsmessstation Luzern Moosstrasse (Abbildung 2) ist der in-LUFT-Kategorie 3 (Städte mit über 50'000 Einwohnern) zugeordnet. Der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) ist mit 40'000 Fahrzeugen pro Tag hoch.⁸ Dementsprechend werden sowohl die NO₂- als auch die PM10-Jahresmittelgrenzwerte gemäss LRV deutlich überschritten. Auch der Tagesmittelgrenzwert für PM10 von 50 µg m⁻³, welcher einmal pro Jahr überschritten werden dürfte, wird an dieser Messstation seit Messbeginn an zwischen 18 und 48 Tagen pro Jahr überschritten. Seit Anfang Januar 2012 wird nebst den erwähnten Grössen auch die Russkonzentration zeitlich hochaufgelöst gemessen. Die Russmessungen erfolgen mit einem Aethalometer AE16, welches vorgängig an der MfM-U-Messstation Reiden mit EC/OC-Messungen⁹ überprüft wurde (siehe auch Kapitel 6.2). Das thermo-optische EC/OC-Verfahren nach dem EUSAAR2-Protokoll gilt europaweit als Referenzverfahren, erlaubt aber keine zeitlich hochaufgelösten Messungen. Das Aethalometer misst die optische Absorption des Russes auf einem Filterband, welche dann in die Russkonzentration (Black Carbon, BC) umgerechnet wird.



Abbildung 2: in-LUFT-Immissionsmessstation Luzern Moosstrasse

⁸ Luftbelastung in der Zentralschweiz: Detaillierte Messdaten 2013, ZUDK, 2014

⁹ Toward a standardized thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol, Cavalli, E. et al., ACP, 2010

2.3 Verkehrszählung

Zur Abschätzung des Verkehrsaufkommens an der Messstation Luzern Moosstrasse werden Verkehrszahlen der nahe gelegenen städtischen Verkehrszählstelle Obergrundstrasse Nr. 9 (213) beim Pilatusplatz zu Hilfe gezogen (Abbildung 3). Das Verkehrsaufkommen wird als Summe der Zähler D018, D019, D068, D088 und D089 bestimmt. Die Zählstellen liefern Daten mit stündlicher Auflösung. Eine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Fahrzeugkategorien ist aufgrund der installierten Messtechnik nicht möglich.

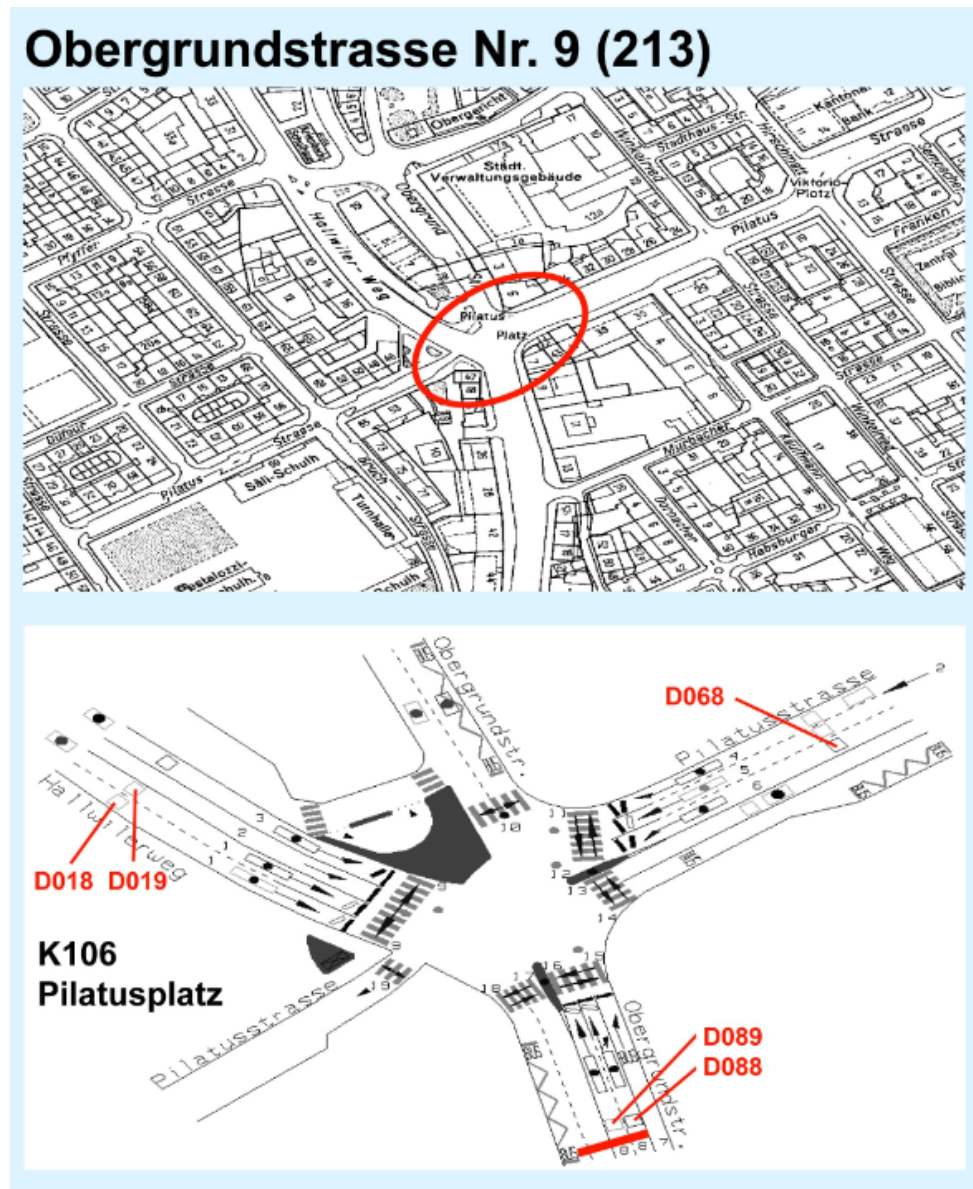


Abbildung 3: Überblick Verkehrsmessstelle Obergrundstrasse Nr. 9 (213)

2.4 Sperrzeiten

Zusätzlich zu den stündlichen Zahlen der Verkehrsmessstellen an der Obergrundstrasse stehen Tabellen mit Art, Zeitpunkten und Dauer der Sperrungen zur Verfügung. In Einzelfällen können die tatsächlichen Sperrungen leicht von den geplanten Sperrungen abweichen. Die Tabellen sind im Anhang 6 aufgelistet.

3 Meteorologische Bedingungen

Die Schweizer Jahresmitteltemperatur 2012 lag 1.3°C über dem Normwert von 1961 bis 1990. Die Jahresniederschläge brachten ebenfalls einen Überschuss von etwa 10 Prozent im Vergleich zur Norm. Meteorologische Besonderheiten des Jahres 2012 waren die zweiwöchige Kältewelle im Februar und der frühe Wintereinbruch im Oktober.¹⁰ Die Kältewelle im Februar war die intensivste seit 27 Jahren.¹¹ Selbst in der Stadt Luzern (in-LUFT-Messstation Luzern Moosstrasse) erreichte die tiefste Tagesmitteltemperatur -9.9°C.

Mit Ausnahme der zwei Kältewochen im Februar trug die Witterung im Allgemeinen zu einer relativ tiefen Immissionsbelastung im 2012 bei. So wurde dank der guten Ausbreitungsbedingungen an den meisten in-LUFT-Messstationen eine der tiefsten PM10-Belastungen der letzten Jahre gemessen.¹²

Im Jahr 2013 lag die Schweizer Jahresmitteltemperatur 0.8°C über dem Normwert von 1961 bis 1990. Die Jahresniederschläge entsprachen weitgehend der Norm. Die winterlichen Verhältnisse hielten im Jahr 2013 bis Ende April an. Der Frühsommer war ausgesprochen nass. Dafür war der Rest des Sommers extrem sonnig. Der Winter meldete sich früh zurück (Mitte Oktober), anschliessend blieben grosse Neuschneefälle im nördlichen Mittelland aus.¹³

Die Witterung im Jahr 2013 hatte keinen überdurchschnittlichen Einfluss auf die Immissionsbelastung.

¹⁰ Klimabulletin Jahr 2012, MeteoSchweiz, 2013

¹¹ Klimabulletin Februar 2012, MeteoSchweiz, 2012

¹² Luftbelastung in der Zentralschweiz: Detaillierte Messdaten 2012, ZUDK, 2013

¹³ Klimabulletin Jahr 2013, MeteoSchweiz, 2014

4 Messresultate

4.1 Langjähriger Verlauf der Immissionsituation in der Stadt Luzern

Um die Messwerte der Online-Messstationen in einen langjährigen Verlauf und in einen räumlichen Kontext einordnen zu können, ist zusätzlich auf die NO₂-Passivsammler-Daten des zentralen Stadtgebietes seit dem Jahr 1999 zurückgegriffen worden (Abbildung 4). Der Jahresbericht über die Luftqualität der Stadt Luzern gibt noch detailliertere Auskunft über die Immissionsbelastung im Stadtgebiet.¹⁴



Abbildung 4: Geographische Lage der verwendeten NO₂-Passivsammler sowie der in-LUFT-Messstation Luzern Moosstrasse.

Abbildung 5 zeigt den Verlauf der NO₂-Konzentration seit 1999 an drei Passivsammler-Standorten sowie an der Messstation Luzern Moosstrasse. Die NO₂-Konzentration ist an allen Standorten seit 1999 in etwa konstant und zeigt während der Jahre keine abnehmende Tendenz. Das Jahr 2012 kann in Bezug auf die Immissionsbelastung als eher gering eingestuft werden, während das Jahr 2013 eine durchschnittliche Belastung zeigt (siehe auch Kapitel 3). Des Weiteren zeigt der Vergleich, dass der Standort Luzern Moosstrasse kein Extremstandort ist, sondern dass er repräsentativ für einen stark verkehrsbelasteten städtischen Standort steht. Die NO₂-Belastung am Bahnhofplatz ist beispielsweise noch höher als an der Moosstrasse.

¹⁴ Die Luftqualität in der Stadt Luzern 2013, Stadt Luzern und inNET Monitoring AG, 2014

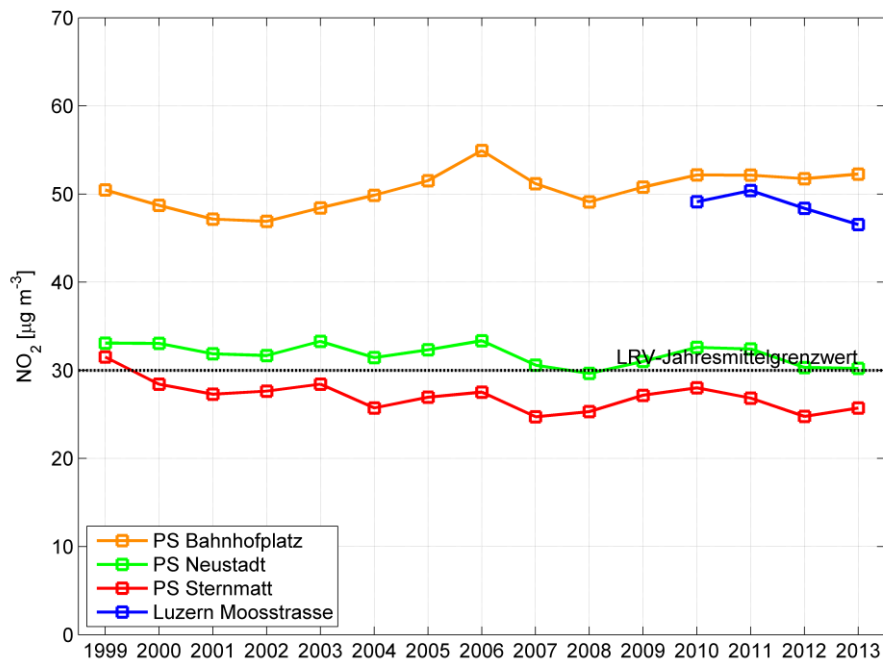


Abbildung 5: Verlauf der NO₂-Konzentration seit 1999 an diversen Passivsammler-Standorten der Stadt Luzern sowie der in-LUFT-Messtation Luzern Moosstrasse seit 2010.

4.2 Überblick Immissionsmessdaten

Abbildung 6 zeigt als Überblick den zeitlichen Verlauf der Immissionsbelastung von PM₁₀ (blau), NO_x (grün) und Russ, gemessen als BC (rot), in Form von Monatsmitteln. Die Russmessungen haben im Jahr 2012 begonnen. Die erhöhten Immissionswerte in den Wintermonaten sind klar ersichtlich.

Der Anteil von BC im PM₁₀ liegt über die zwei Jahre bei 8.7 % und somit in der Grössenordnung der Messdaten des NABEL-Messnetzes. Der EC-Anteil liegt im NABEL-Messnetz für städtische Standorte zwischen 5 % (Vorstadt) und 12.6 % (Stadt, verkehrsnah).^{15,16} Auffällig sind die erhöhten Russ-Immissionen im Herbst und Winter 2012, deren Ursachen nicht bekannt sind.

¹⁵ Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub, Untersuchungen an ausgewählten NABEL-Standorten, Schlussbericht, Hüglin u. a., EMPA, 2012

¹⁶ Im NABEL-Bericht wird Russ als EC ausgewiesen, im vorliegenden Bericht als BC. Siehe dazu auch Kapitel 2.2.

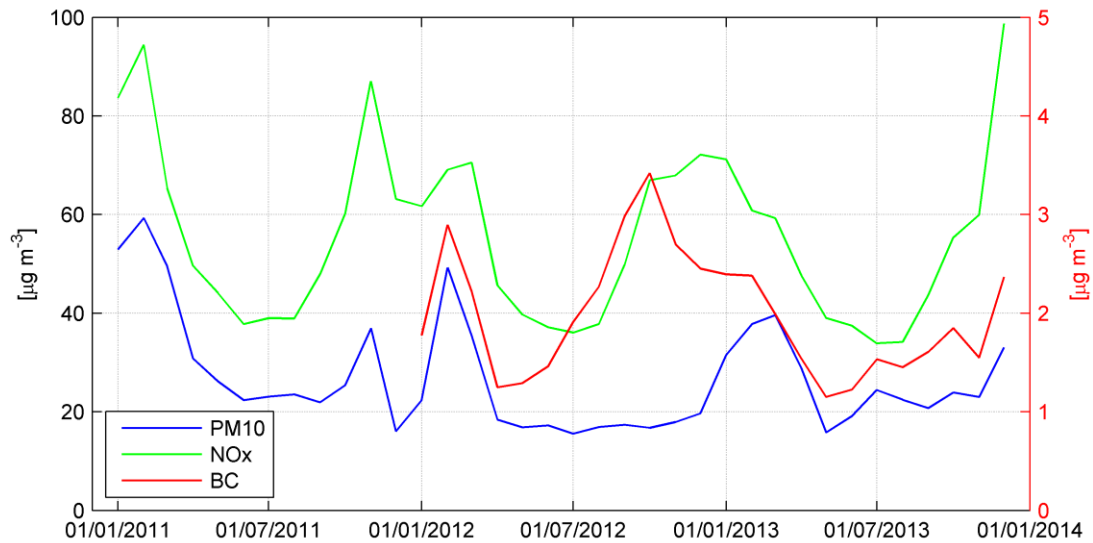


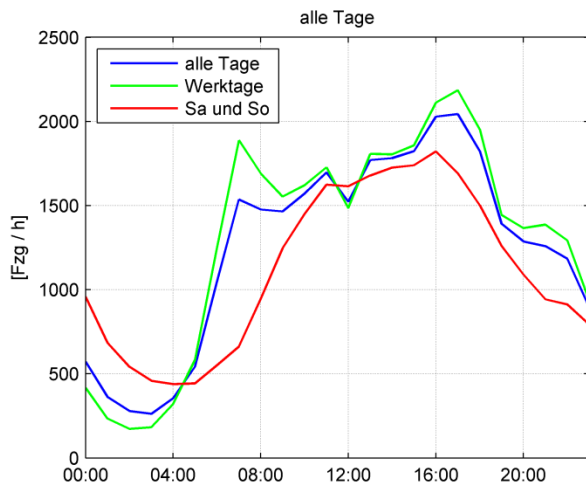
Abbildung 6: Zeitreihe der Monatsmittel (2011 bis 2013) von PM10 (blau), NO_x in ppb (grün) und BC (rote, rechte y-Achse). Aufgrund lückenhafter Daten ist das BC-Monatsmittel vom Juli 2013 kein gültiger Wert gemäss BAFU-Kriterien.

4.3 Tagesgänge Verkehr

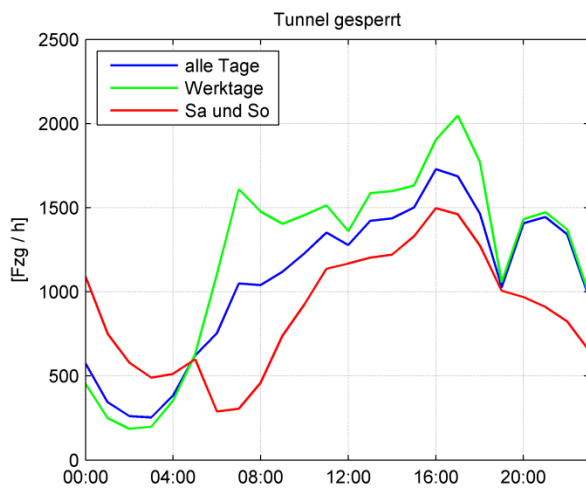
In Abbildung 7 sind die mittleren Verkehrstagesgänge des Jahres 2012 dargestellt. Es wird jeweils zwischen den Stundenmitteln aller Tage (blaue Kurven), der Werkstage Montag bis Freitag (grüne Kurven) und der Wochenendtage Samstag und Sonntag (rote Kurven) unterschieden. In der obersten Grafik sind die mittleren Stundenwerte aller Tage des Jahres 2012 dargestellt, in der mittleren Grafik die mittleren Stundenwerte der Zeitpunkte, an denen der Tunnel in mindestens einer Fahrtrichtung gesperrt war (gemäss Anhang 6.1) und in der untersten Grafik die mittleren Stundenwerte der Zeitpunkte, an denen der Tunnel in beiden Fahrtrichtungen offen war oder im Gegenverkehr geführt wurde.

Der Vergleich der Grafiken bringt einige interessante Details zu Tage:

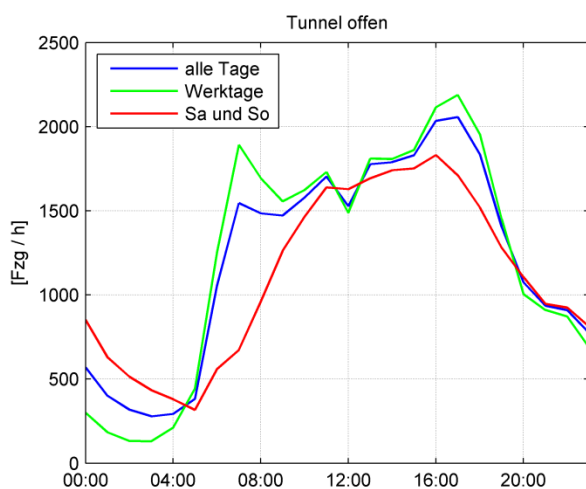
- An Werktagen, an denen der Tunnel gesperrt war, ist während des Tages das Verkehrsaufkommen an der Obergrundstrasse geringer als an Tagen, an denen der Tunnel befahrbar war. Zwei Hauptgründe haben vermutlich zu diesem überraschenden Ergebnis geführt: a) Die umfassende und gute Kommunikation der Behörden hat viele Automobilisten davon abgehalten in die Innenstadt zu fahren und b) die Zeitpunkte, an denen der Tunnel tagsüber gesperrt war, wurden auf Tage gelegt, an denen mit einem allgemein geringeren Verkehrsaufkommen zu rechnen war.
- Zwischen 20 Uhr abends und 1 Uhr morgens ist während der Tunnelsperrungen das Verkehrsaufkommen deutlich höher (grüner Peak in der Abbildung 7 b)). Insbesondere an den Werktagen steigt das Verkehrsaufkommen nach 19 Uhr nochmals markant an.



a)



b)



c)

Abbildung 7: Tagesgänge Verkehr in Fahrzeugen pro Stunde für sämtliche Zeitpunkte des Jahres 2012 (a), während Tunnelsperrungen (mindestens eine Fahrtrichtung wird über die Stadt umgeleitet) (b) und wenn der Tunnel geöffnet war (c). Es wird jeweils zwischen allen Wochentagen (blaue Kurven), den Werktagen Montag bis Freitag (grüne Kurven) und den beiden Wochenenden (rote Kurven) unterschieden.

In Abbildung 8 a) ist der mittlere Verkehrstagesgang für das Jahr 2013 dargestellt. Die mittlere Grafik zeigt die Differenz des Verkehrs von 2012 minus 2013, berechnet als Tagesgang in Fahrzeuge pro Stunde. Die unterste Grafik zeigt die relative Differenz des Verkehrs von 2012 minus 2013. Positive Werte in den beiden Abbildung 8 b) und c) bedeuten, dass im Jahr 2012 während den entsprechenden Stunden Mehrverkehr herrschte. Es wird zwischen den Stundenmitteln aller Tage (blaue Kurven), der Werktage Montag bis Freitag (grüne Kurven) und der Wochenendtage Samstag und Sonntag (rote Kurven) unterschieden.

Insgesamt war das Verkehrsaufkommen im 2012 leicht höher als im 2013. Diese höheren Verkehrszahlen sind insbesondere an den Wochenenden sowie zu späten Abendstunden (20 Uhr bis 24 Uhr abends) aufgetreten. Die Differenzen sind eindeutig auf die Sperrungen im Rahmen der Cityring-Sanierung zurückzuführen, bei welcher im 2012 der Verkehr durch die Stadt Luzern über die Obergrundstrasse umgeleitet wurde. Die Sperrungen haben folglich im Jahresdurchschnitt an Werktagen zu Spitzenzeiten bis zu 270 zusätzliche Fahrzeuge pro Stunde verursacht.

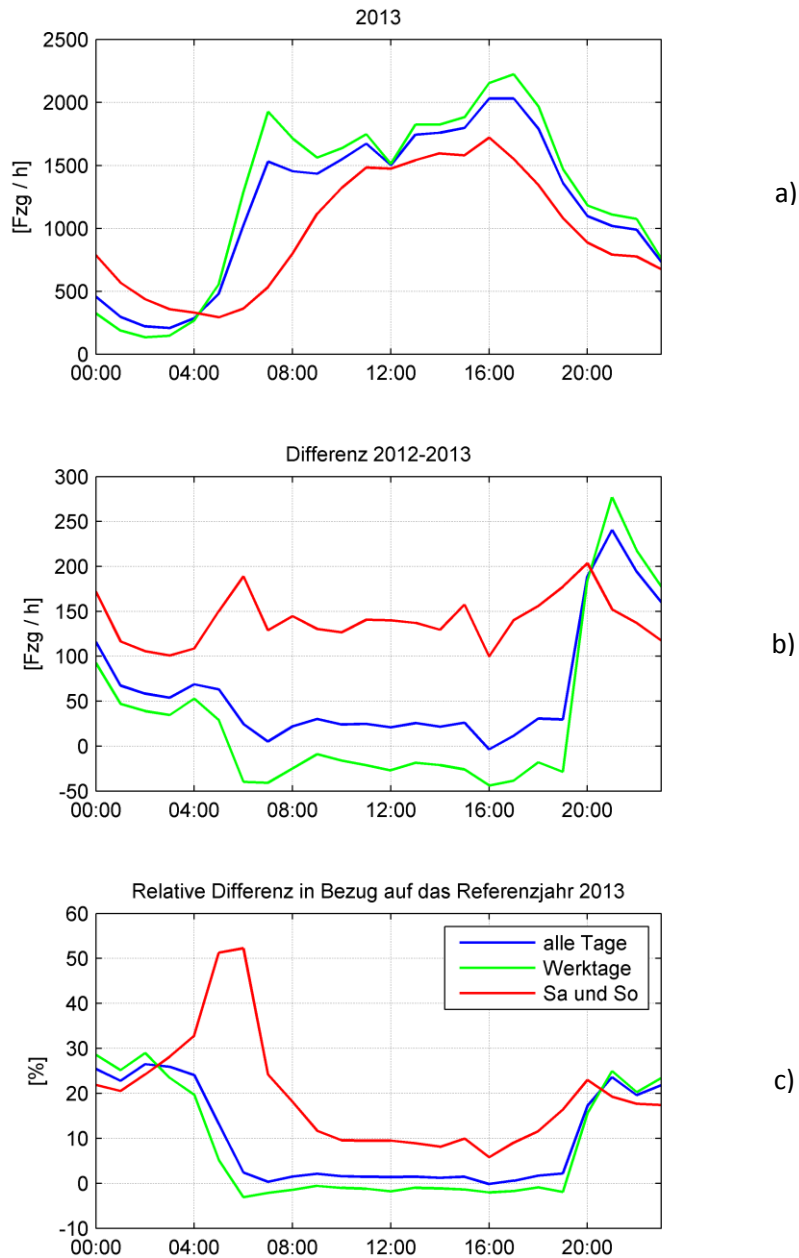


Abbildung 8: (a) Tagesgang Verkehr in Fahrzeugen pro Stunde im Mittel für das Jahr 2013, (b) absolute Differenz des Verkehrs 2012 minus 2013, dargestellt im Tagesgang, und (c) relative Differenz des Verkehrs 2012 minus 2013. Es wird zwischen allen Wochentagen (blaue Kurven), den Werktagen Montag bis Freitag (grüne Kurven) und den beiden Wochenendtagen (rote Kurven) unterschieden.

Der DTV der Jahre 2012 und 2013, gemittelt nach denselben Perioden wie in Abbildung 8, ist in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt verursachten die Sperrungen einen Mehrverkehr von 5 % im Jahr 2012 im Vergleich zum Referenzjahr 2013. Der Mehrverkehr war insbesondere an den Wochenenden mit 14 % stark ausgeprägt.

Tabelle 1: Mittleres Verkehrsaufkommen (DTV) der Jahre 2012 und 2013 sowie der absolute und relative Mehrverkehr im Jahr 2012

| | Mittel 2012 [Fzg/Tag] | Mittel 2013 [Fzg/Tag] | Mehrverkehr 2012 [Fzg/Tag] | Mehrverkehr 2012 [%] |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| alle Tage | 29'980 | 28'474 | 1'505 | 5 % |
| Werktage Mo - Fr | 31'269 | 30'491 | 778 | 3 % |
| Sa und So | 26'774 | 23'412 | 3'362 | 14 % |

4.4 Tagesgänge Immissionen

Abbildung 9 zeigt die mittleren Tagesgänge der Immissionsgrössen PM10 (blau), NO_x (grün) und BC (rot) in der linken Spalte und den BC-Anteil im PM10 in der rechten Spalte für alle Messdaten des Jahres 2013. Es wird wiederum zwischen Daten aller Tage (obere Grafiken), der Werktagen Montag bis Freitag (mittlere Grafiken) und der Wochenendtage Samstag und Sonntag (untere Grafiken) unterschieden.

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Grafiken ableiten:

- Deutlich kommen Morgen- und Abendpeak zum Vorschein, welche insbesondere an den Werktagen sehr ausgeprägt sind. Obwohl die Verkehrsspitze am Abend ausgeprägter ist als am Morgen (Abbildung 8), sind die NO_x- und BC-Immissionen in den Morgenstunden deutlich höher als am Abend. Dies ist auf die höhere atmosphärische Stabilität und die daraus folgenden schlechteren Ausbreitungsbedingungen in den Morgenstunden zurückzuführen.
- Der mittlere PM10-Tagesgang ist sehr flach. Einzig am Morgen zwischen 6 und 8 Uhr ist ein leichter Anstieg feststellbar. Die unterschiedlichen Tagesgänge von NO_x oder BC und PM10 zeigen eindrücklich, dass beim PM10 die Hintergrundbelastung und langsamere Bildungsprozesse (sekundäre Feinstaubbildung) für erhöhte Immissionen verantwortlich sind und dem Lokalverkehr nur eine sekundäre Rolle zukommt. Auswertungen an anderen Standorten zeigen, dass aber bei der Partikelanzahl (PN) sehr wohl ein stark dem Verkehr folgender Tagesgang vorhanden ist.^{17,18}
- Der Russanteil im Feinstaub liegt im 2013 an den Werktagen Montag bis Freitag bei 6.8 % und an den Wochenendtagen bei 5.6 %. Dies zeigt zusammen mit den Peaks (rechte Spalte in Abbildung 9) wiederum den Zusammenhang zwischen Verkehrsaufkommen und Russbelastung.

¹⁷ Entwicklung der Luftbelastung in der Zentralschweiz, Auswertung in-LUFT-Messdaten von 1999 bis 2011, inNET Monitoring AG, 2013

¹⁸ Übersichtsstudie Partikel, Gesamtbetrachtung PM10, Russ und Partikelanzahl im Rahmen vom MfM-U, inNET Monitoring AG, 2014

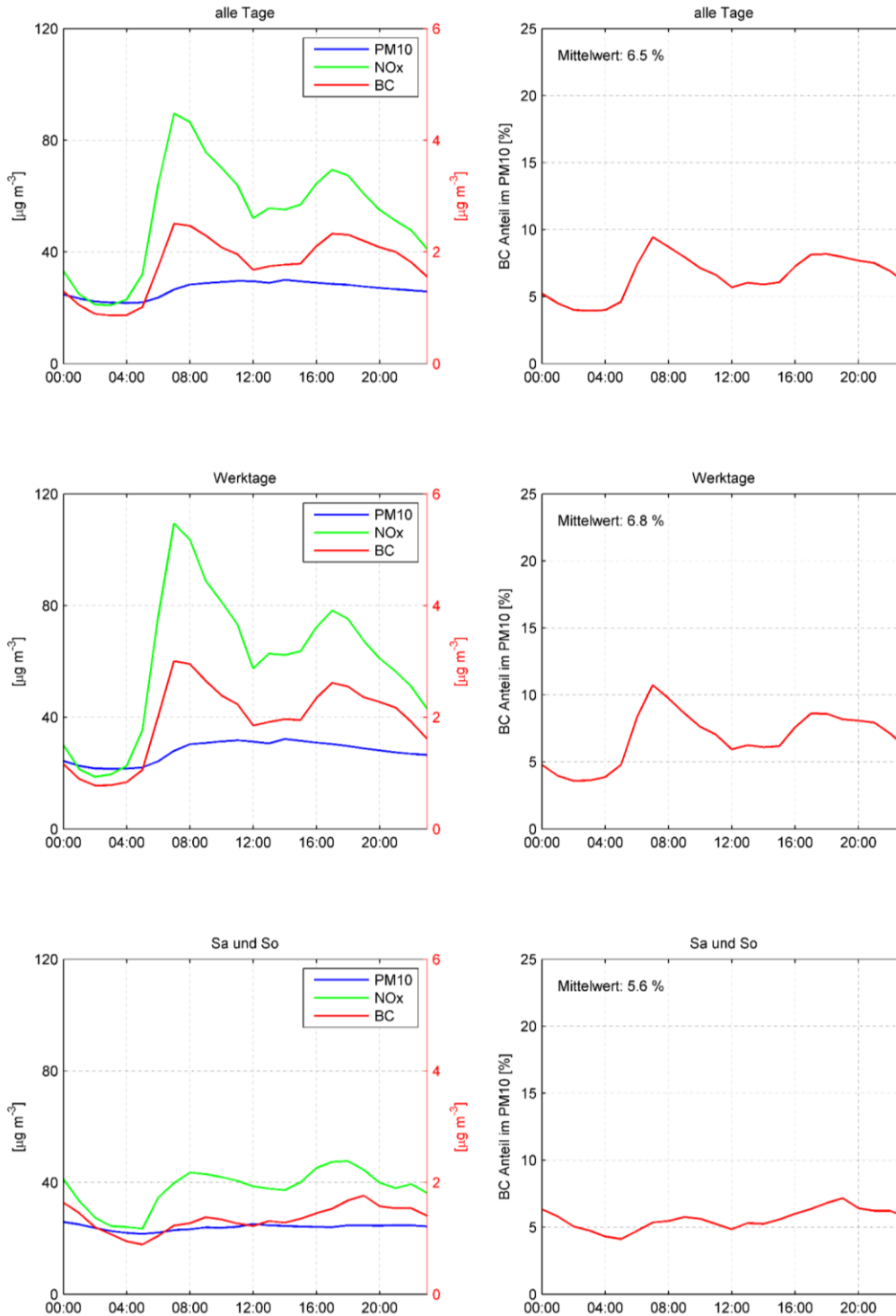


Abbildung 9: Mittlere Tagesgänge (Messdaten 2013) von PM10, NO_x in ppb und BC (linke Spalte) sowie BC-Anteil im PM10 (rechte Spalte), jeweils für alle Wochentage (oben), die Werktage ohne Samstage (Mitte) sowie Samstage und Sonntage (unten).

4.5 Immissionsbelastung während Tunnelsperrungen

Abbildung 7 hat gezeigt, dass während der nächtlichen Tunnelsperrungen ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen an der Obergrundstrasse vorherrschte. Die Differenz der Anzahl Fahrzeuge war insbesondere zwischen 20 und 24 Uhr ausgeprägt. Aus diesem Grund sind in der Tabelle 2 die mittleren Immissionsbelastungen zwischen 20 und 24 Uhr während des Jahres 2012 bei offenem und bei gesperrtem Sonnenbergtunnel dargestellt. Zusätzlich findet man in der letzten Spalte die Differenz der beiden Mittelwerte.

Die beiden am besten mit dem Verkehrsaufkommen korrelierenden Grössen¹⁹ NO_x und NO₂ zeigen erwartungsgemäss die grössten Zunahmen bei gesperrtem Tunnel. Während der Tunnelsperrungen ist die NO_x- und NO₂-Immissionsbelastung während der Abendstunden knapp 10 % höher als bei offenem Tunnel. Die PM10-Belastung ist hingegen während der Sperrzeiten am Abend tiefer. Dies kann als Beweis dafür angesehen werden, dass die NO₂- und NO_x-Differenzen nicht durch die Meteorologie verursacht wurden. Ohne diesen mindernden meteorologischen Effekt wären die Differenzen noch bedeutender ausgefallen.

Es gilt hier noch zu beachten, dass auch der Monat Dezember mit eher hoher Hintergrundbelastung in die Auswertung eingeflossen ist. Während des ganzen Monats gab es keine Sperrungen mehr. Somit sind also die Werte „Tunnel offen“ eher etwas hoch beziehungsweise die „Differenzen“ eher konservativ betrachtet und dürften bei homogener Verteilung der Sperrungen über das ganze Jahr etwas grösser ausfallen. Betrachtet man die Differenzen auf Monatsbasis (nicht aufgelistet), ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der Jahresmittel. Aufgrund der geringeren Datenlage sind die Unsicherheiten aber erheblich grösser.

Tabelle 2: Immissionswerte zwischen 20 und 24 Uhr, alle Tage

| Immissionsgrösse | Tunnel offen | Tunnel gesperrt | Differenz [%] |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|---------------|
| NO _x [ppb] | 48.0 | 52.3 | 9.0 |
| NO ₂ [µg m ⁻³] | 48.3 | 52.8 | 9.3 |
| PM10 [µg m ⁻³] | 23.4 | 22.0 | -6.2 |
| BC [µg m ⁻³] | 2.34 | 2.35 | 0.8 |
| BC im PM10 [%] | 10.7 | 11.9 | 11.5 |

¹⁹ Russmessungen Luzern Moosstrasse, Zwischenbericht Messperiode 2012, 2013, inNET Monitoring AG

4.6 Vergleich Luzern Moosstrasse – Sedel

Im Gegensatz zur verkehrsexponierten Messstation Luzern Moosstrasse wird an der Station Sedel eher die Hintergrundbelastung in der Peripherie der Stadt Luzern abgebildet. Je nach Wetterlage haben die Autobahnen A2 und A14 (Abstand ca. 300 m) einen gewissen Einfluss auf die Messresultate.²⁰

In Abbildung 10 sind die mittleren Tagesgänge der Immissionsmessgrössen PM₁₀, NO_x und NO₂ der beiden Messstationen Luzern Moosstrasse (blaue Kurve, linke Spalte) und Sedel (grüne Kurve, linke Spalte) dargestellt. In der rechten Spalte ist die Differenz Luzern Moosstrasse minus Sedel abgebildet. Die Messdaten des Jahres 2013 bilden die Grundlage für diese Auswertungen.

- Die PM₁₀-Konzentration verläuft an beiden Stationen recht ähnlich. An der Messstation Luzern Moosstrasse liegt die Jahresdurchschnittsbelastung im Jahr 2013 bei 26.6 µg m⁻³, am Standort Sedel bei 22.0 µg m⁻³. Dies macht eine Differenz von knapp 20 %.
- Beim stärker verkehrsabhängigen Schadstoff NO_x sind die Morgen- und Abendpeaks am Standort Luzern Moosstrasse viel deutlicher ausgeprägt. Im Jahresmittel unterscheiden sich die beiden Stationen um fast 170 %.
- Die NO₂-Belastung ist an der Moosstrasse ebenfalls mehr als doppelt so hoch (103 % höher) als auf dem Sedel und überschreitet mit einem Jahresmittel im 2013 von 46.5 µg m⁻³ den LRV-Grenzwert von 30 µg m⁻³ deutlich.

²⁰ Luftbelastung in der Zentralschweiz: Detaillierte Messdaten 2011, Zentralschweizer Umweltfachstellen, 2012

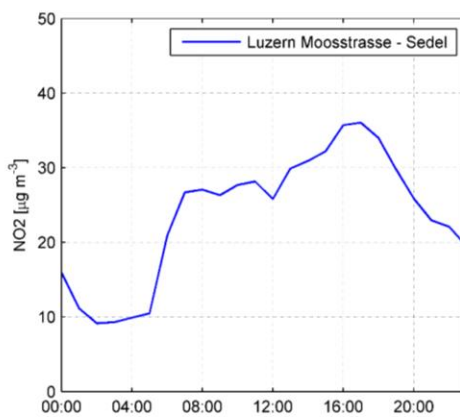
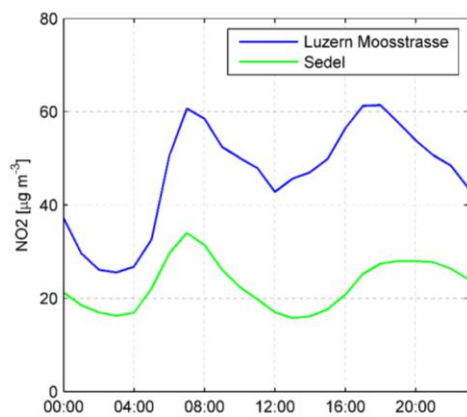
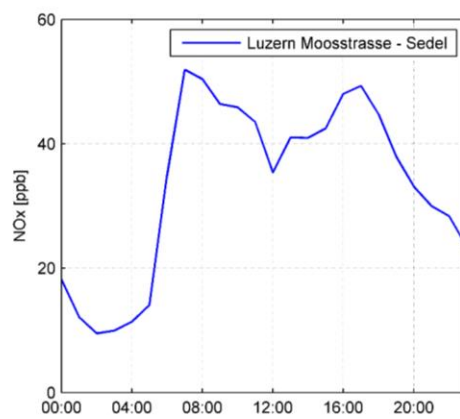
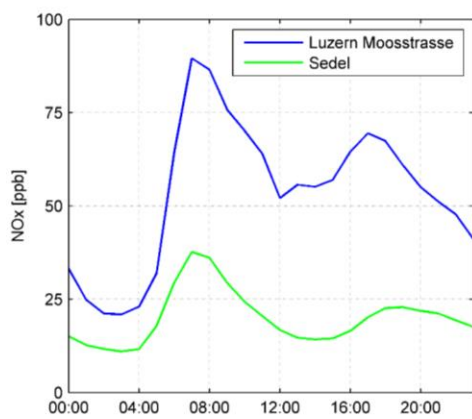
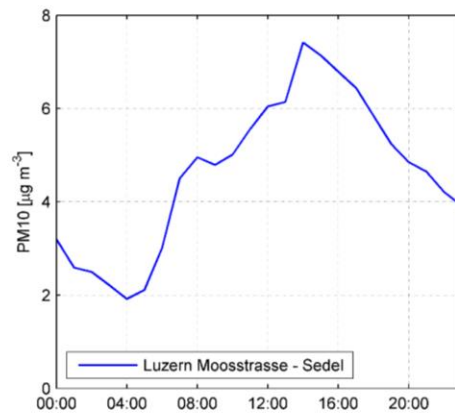
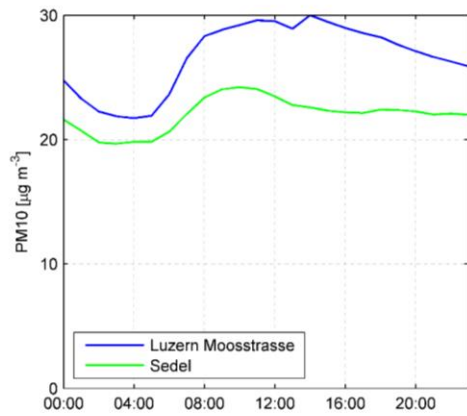


Abbildung 10: Linke Spalte: mittlere Tagesgänge Luzern Moosstrasse (blau) und Sedel (grün). Rechte Spalte: mittlere Tagesgänge der Differenz Luzern Moosstrasse minus Sedel. Messdaten des Jahres 2013.

4.6.1 Exkurs Vergleich der Russbelastung Luzern Moosstrasse und Sedel im 2014

Im Dezember 2013 wurde ein Russmessgerät in der in-LUFT-Station Sedel installiert. Somit sind zum Erstellungszeitpunkt des Berichts drei Monate kontinuierliche Russmessdaten an den zwei Stationen Luzern Moosstrasse und Sedel vorhanden. Ein umfassender Bericht wird anfangs 2015, nach Vorliegen von Messdaten über ein ganzes Jahr an der Station Sedel, erstellt.

Abbildung 11 zeigt die Monatsmittel der Russkonzentration von Januar bis März 2014 der Stationen Luzern Moosstrasse und Sedel. Im ersten Quartal 2014 ist die Russbelastung an der Moosstrasse gut doppelt so hoch wie auf dem Sedel. An der Moosstrasse wird von Januar bis März eine deutliche Abnahme verzeichnet, während an der Messstation Sedel die Monatsmittel nur geringfügig schwanken. Eine mögliche Ursache für dieses unterschiedliche Verhalten kann der stärkere Einfluss von Holzfeuerungen auf die Russbelastung im Zentrum von Luzern als auf dem Sedel sein. Auch die ganz unterschiedliche räumliche Situation an den beiden Standorten (Messstation Moosstrasse in Strassenschlucht, Messstation Sedel auf offenem Feld ohne Überbauungen) kann dazu beigetragen haben. Um dies abschliessend beurteilen zu können, müssen aber längere Messreihen vorliegen.

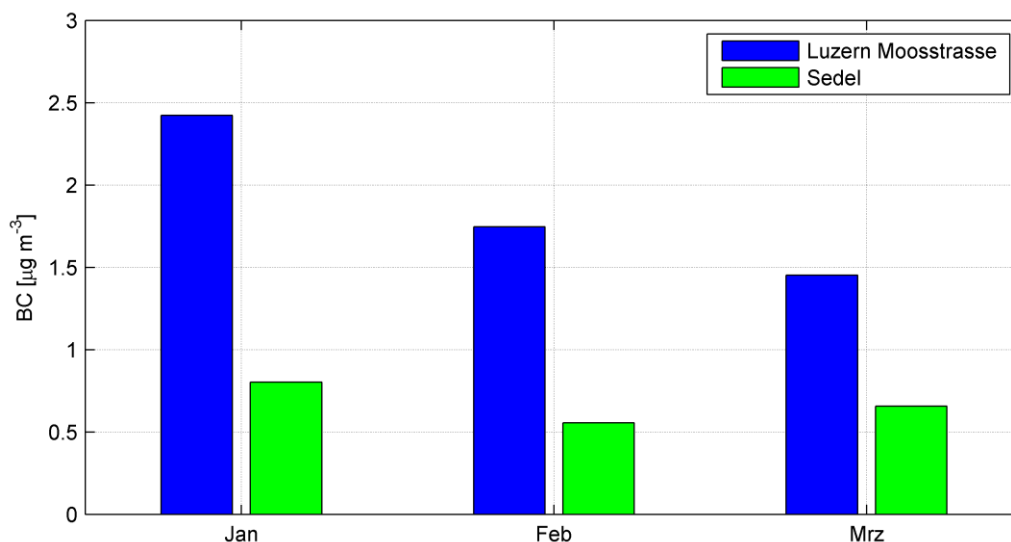


Abbildung 11: Monatsmittel der Russkonzentration von Januar bis März 2014 der Stationen Luzern Moosstrasse und Sedel.

Abbildung 12 zeigt die mittleren Tagesgänge für BC an der Station Luzern Moosstrasse und Sedel, berechnet aus Messdaten vom 12.12.2013 bis 06.04.2014. Der Unterschied der Russkonzentration liegt während des Tages zwischen 1 bis 2 µg m⁻³, in den frühen Morgenstunden vor dem Morgenverkehr unter 1 µg m⁻³. Insbesondere die Morgen- und Abendpeaks sind an der Station Luzern Moosstrasse deutlicher ausgeprägt als auf dem Sedel. Diese sind ein Hinweis auf den direkten Einfluss des Verkehrs auf die Immissionsbelastung. Zudem ist an der Station Sedel der Abendpeak gut 2 Stunden später und stark abgeflacht.

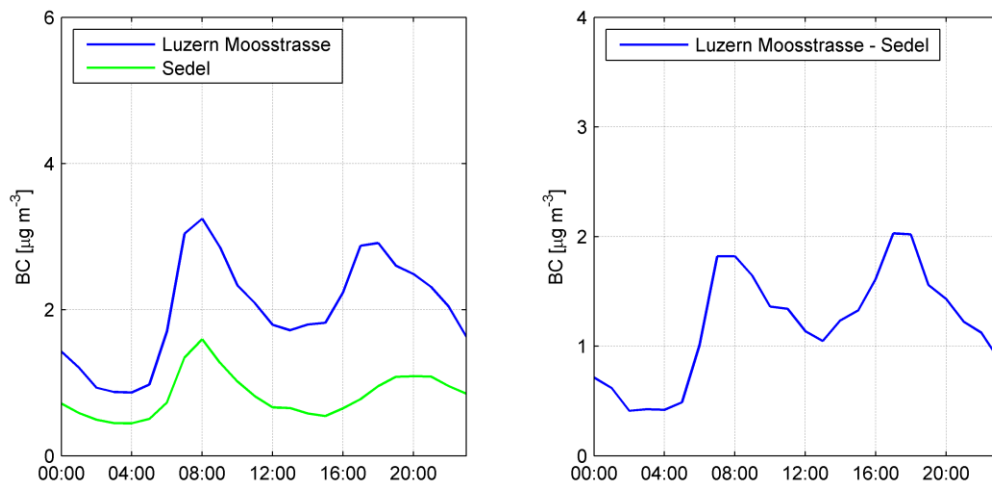


Abbildung 12: Linke Spalte: mittlere Tagesgänge von BC für Luzern Moosstrasse (blau) und Sedel (grün), berechnet aus Messdaten vom 12.12.2013 bis 06.04.2014. Rechte Spalte: mittlere Tagesgänge der Differenz Luzern Moosstrasse minus Sedel, über dieselbe Messperiode.

4.7 Jahresmittel 2012 und 2013

In Tabelle 3 sind die LRV-relevanten Kennzahlen der Jahre 2012 und 2013 zusammengefasst. Werte, welche die Grenz- oder Richtwerte überschreiten, sind fett dargestellt. Insbesondere die Anzahl der Tagesmittel-Grenzwertüberschreitungen ist an der Moosstrasse deutlich höher als an der Messstation Sedel. Sämtliche Grössen an der Messstation Luzern Moosstrasse überschreiten die LRV-Grenzwerte. Die Russkonzentration ist mehr als 20-mal höher als der Zielwert. Diese Ausführungen gelten sowohl für das Jahr 2012 als auch das Jahr 2013.

Tabelle 3: Jahresmittel 2012 und 2013 inklusive LRV-Grenzwerte

| | LRV-Grenzwert | 2012 | | 2013 | |
|---|-------------------|-----------------|----------|-----------------|-------------|
| | | Luzern Moosstr. | Sedel | Luzern Moosstr. | Sedel |
| Jahresmittel PM10 [$\mu\text{g m}^{-3}$] | 20 | 21.9 | 19.0 | 26.6 | 22.0 |
| PM10 d1 > 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ [Tage] | 1 | 18 | 7 | 25 | 15 |
| Jahresmittel NO ₂ [$\mu\text{g m}^{-3}$] | 30 | 48.4 | 22.7 | 46.5 | 22.9 |
| NO ₂ d1 > 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ [Tage] | 1 | 6 | 0 | 4 | 0 |
| Jahresmittel NO _x [ppb] | - | 54.6 | 18.4 | 53.4 | 20.0 |
| Jahresmittel Russ [$\mu\text{g m}^{-3}$] | 0.1 ²¹ | 2.2 | - | 1.8 | - |

Tabelle 4 zeigt die absolute und relative Differenz der NO₂-, NO_x-, PM10- und BC-Konzentrationen für die Station Luzern Moosstrasse 2012 minus 2013. In Tabelle 5 sind dieselben Differenzen für die Messstation Sedel dargestellt. Die Daten vom Sedel dienen als Referenz für meteorologisch bedingte Veränderungen der Schadstoffbelastung. Wird an beiden Stationen eine ähnliche Veränderung festgestellt, ist diese wohl auf meteorologische Bedingungen zurückzuführen und nicht auf Veränderungen von Schadstoffemissionen. Die Spannweite an der Station Luzern Moosstrasse reicht von gleichen Werten bei der NO_x-Konzentration an Werktagen bis zu deutlichen Mehrbelastungen im 2012 bei der BC-Konzentration. Die Mehrbelastungen im 2012 gegenüber 2013 liegen im Bereich von 0 bis 12 % für NO_x und bis zu 35 % für BC an Wochenenden. Im Gegensatz dazu zeigt die Station Sedel für NO_x im 2012 eine um durchschnittlich 8 % tiefere Belastung als im Jahr 2013 (am Wochenende nur knapp 2 %). Die Grössenordnung der Veränderung beim Feinstaub liegt an beiden Stationen im ähnlichen Rahmen. Die günstigen meteorologischen Bedingungen im 2012 haben die negativen Auswirkungen des Verkehrsregimes gedämpft. Diese wären bei durchschnittlichen meteorologischen Bedingungen noch stärker negativ ausgefallen.

Die durch das Sanierungsprojekt verursachte Verkehrszunahme im Jahr 2012 gegenüber dem Jahr 2013 an der Moosstrasse von durchschnittlich 5 % (3 % Werktage Montag bis Freitag und 14 % Samstag und Sonntag, siehe Tabelle 1) widerspiegelt sich somit auch in der Immissionsbelastung. Insbesondere wird auch hier der deutliche Unterschied von allen Tagen zu Wochenenden ersichtlich.

²¹ Richtwert gemäss „Feinstaub in der Schweiz. Statusbericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL)“, 2007

Tabelle 4: Absolute und relative Mehrbelastung beziehungsweise Minderbelastung (negative Vorzeichen) der NO₂-, NO_x-, PM10- und BC-Konzentration Luzern Moosstrasse im Sanierungsjahr 2012 im Vergleich zum Referenzjahr 2013

| | NO ₂ | | NO _x | | PM10 | | BC | |
|-----------|-----------------------|-----|-----------------|------|-----------------------|-------|-----------------------|------|
| | [µg m ⁻³] | [%] | [ppb] | [%] | [µg m ⁻³] | [%] | [µg m ⁻³] | [%] |
| alle Tage | 1.8 | 4.0 | 1.2 | 2.3 | -4.7 | -17.7 | 0.47 | 26.7 |
| Werktage | 1.2 | 2.3 | -0.2 | -0.2 | -5.4 | -19.6 | 0.47 | 24.8 |
| Sa und So | 3.5 | 9.2 | 4.4 | 11.9 | -3.0 | -12.3 | 0.47 | 34.9 |

Tabelle 5: Absolute und relative Mehrbelastung beziehungsweise Minderbelastung (negative Vorzeichen) der NO₂-, NO_x- und PM10-Konzentration im Sanierungsjahr 2012 im Vergleich zum Jahr 2013 bei der Referenzstation Sedel

| | NO ₂ | | NO _x | | PM10 | |
|-----------|-----------------------|------|-----------------|------|-----------------------|-------|
| | [µg m ⁻³] | [%] | [ppb] | [%] | [µg m ⁻³] | [%] |
| alle Tage | -0.2 | -0.8 | -1.5 | -7.7 | -3.0 | -13.8 |
| Werktage | -0.4 | -1.7 | -2.0 | -8.9 | -3.6 | -15.6 |
| Sa und So | 0.5 | 2.7 | -0.2 | -1.8 | -1.7 | -8.7 |

4.8 Verkehrszusammensetzung

Ursprünglich war geplant mithilfe des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 (HBFA3.1) die Verkehrsemissionen an der Obergrundstrasse zu berechnen.^{22,23} Da aber aufgrund der installierten Messtechnik an der städtischen Verkehrszählstelle Obergrundstrasse Nr. 9 (213) keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Fahrzeugkategorien möglich ist, wären solche Berechnungen mit zu grossen Unsicherheiten behaftet, um einigermaßen verlässliche Aussagen betreffend Emissionen zu machen. Denn es können schon kleine Abweichungen der Verkehrszusammensetzung aufgrund stark unterschiedlicher Emissionen der einzelnen Kategorien zu grossen Fehlern bei den Emissionsanteilen führen. Deswegen wird an dieser Stelle, soweit wie möglich, nur die geschätzte Verkehrszusammensetzung betrachtet. Abbildung 13 zeigt die geschätzte durchschnittliche innerstädtische Verkehrszusammensetzung von Luzern.²⁴ Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Grafik auch repräsentativ für den Bereich der Immissionsmessstation Luzern Moosstrasse ist. Die Schätzungen beruhen auf wenigen Stunden manuellen Verkehrszählungen, welche zwischen 2001 und 2010 durchgeführt wurden.

²² Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 3.1, Quick Reference, 2010, infras

²³ www.hbfa.net

²⁴ Daten von Peter Schmidli, Umweltschutz Stadt Luzern, zur Verfügung gestellt (Verkehrsmengen_LSP_180214_Volta_korr_INFRAS_ps.xls)

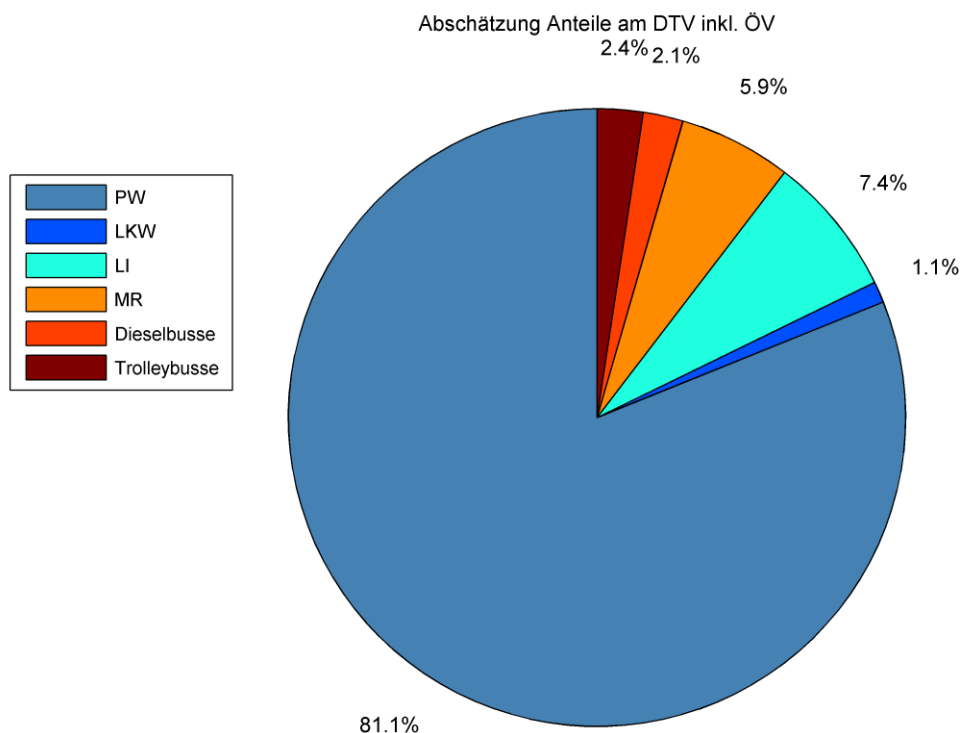


Abbildung 13: Durchschnittliche innerstädtische Verkehrszusammensetzung in Luzern, berechnet aus Verkehrszählungen an 8 Hauptverkehrsstrassen (ohne Baslerstrasse) in den Jahren 2001 bis 2010 und Fahrplänen des öffentlichen Verkehrs.²⁵ Dabei steht PW für Personenwagen, LKW für Lastkraftwagen, LI für Lieferwagen und MR für Motorräder.

Detaillierter kann das Verkehrsaufkommen der Linienbusse angeschaut werden. Anhand von Fahrplänen des öffentlichen Verkehrs sind die Verkehrszahlen von Linienbussen (entspricht der Summe der Trolley- und Dieselbusse) noch genauer analysiert worden.²⁶ Abbildung 14, linke Spalte, zeigt den Tagesgang der Linien- (oben) respektive der Diesellinienbusse (unten), unterteilt in Werkstage (Montag bis Freitag), Samstage und Sonntage. Mithilfe dieser Zahlen kann der prozentuale Anteil der Linien- respektive der Diesel-Linienbusse am Gesamtverkehr berechnet werden (Abbildung 14, rechts).

²⁵ Daten von Peter Schmidli, Umweltschutz Stadt Luzern, zur Verfügung gestellt (Verkehrsmengen_LSP_180214_Volta_korr_INFRAS_ps.xls)

²⁶ <http://www.vbl.ch/fahrplaene/online-fahrplan/> [Stand: 10.04.2014]

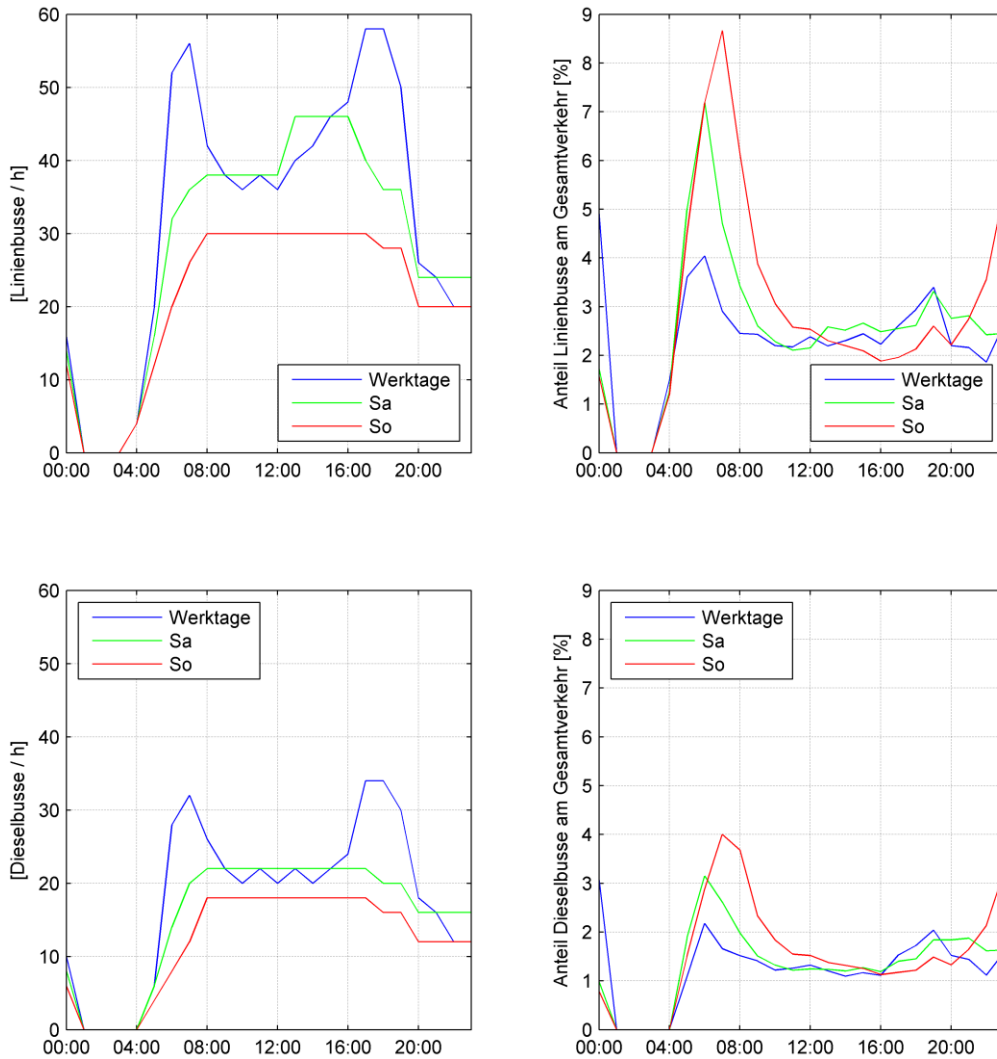


Abbildung 14: Oben links: Tagesgang der Linienbusse in beiden Fahrrichtungen, abgeschätzt anhand der VBL-Fahrpläne. Oben rechts: Prozentualer Anteil der Linienbusse am Gesamtverkehr. Unten links: Tagesgang der Dieselbusse, abgeschätzt anhand der VBL-Fahrpläne. Unten rechts: prozentualer Anteil der Linienbusse am Gesamtverkehr; unterteilt jeweils nach Werktagen (blaue Linien), Samstagen (grüne Linien) und Sonntagen (rote Linien).

An den Werktagen weisen die Linienbusse zwischen 6 und 8 Uhr und am Abend zwischen 17 und 19 Uhr eine hohe Frequenz auf. Setzt man diese Tagesgänge in Bezug zum Gesamtverkehrsaufkommen, wird ersichtlich, dass Linienbusse in den frühen Morgenstunden und um Mitternacht überdurchschnittlich stark zum Gesamtverkehrsaufkommen beitragen. Obwohl die Dieselbusse anteilmässig in den frühen Morgenstunden ausgeprägte Spitzen an Samstagen und Sonntagen aufweisen, ist im Immissionstagesgang (Abbildung 9) bei der NO_x -Belastung kein ähnliches Muster erkennbar.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass genaue Kenntnisse über die Verkehrszusammensetzung unabdingbar sind, um Emissionsberechnungen zu erstellen. Beispielsweise existiert mit TIC102 der Firma Sick ein System, welches Fahrzeuge auch im Stop-and-go-Verkehr mit höchster Zählgenau-

igkeit erfassen kann.²⁷ Eine solche Messeinrichtung könnte beispielsweise an verschiedenen bestehenden Verkehrszählstandorten in der Stadt Luzern über jeweils ein Jahr eingesetzt werden, um die genaue Verkehrszusammensetzung zu erfassen. Die Firma inNET Monitoring AG betreibt ab Sommer 2014 im Auftrag des ASTRA eine solche Messeinrichtung auf der A2 in Basel (zusätzlich ergänzt mit Infrarotkamera zur Erfassung der Gefahrgutschilder).

²⁷ <http://www.innetag.ch/Verkehr.22.0.html> [Stand: 04.06.2014]

5 Zusammenfassung

Der vorliegende Schlussbericht dokumentiert die Russmessungen am Standort Luzern Moosstrasse über die zwei Jahre 2012 und 2013, welche im Zusammenhang mit der Cityring-Sanierung durchgeführt wurden. Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte zusammengefasst:

- Die Meteorologie trug im Jahr 2012 zu einer allgemein eher tiefen Immissionsbelastung bei. Im Jahr 2013 herrschten bezüglich Immissionssituation meteorologische Bedingungen, welche ziemlich genau dem langjährigen Durchschnitt entsprechen.
- Der Verkehr an der Moosstrasse war während des Jahres 2012, als Sanierungsarbeiten und Tunnelsperrungen stattfanden, zwischen 3 % (Montag bis Freitag) und 14 % (Samstag und Sonntag) höher als im Jahr 2013. Der übers Jahr gemittelte Mehrverkehr betrug in den Abendstunden an Werktagen bis zu 270 Fahrzeuge pro Stunde.
- Interessanterweise war aber zu gewissen Tageszeiten das Verkehrsaufkommen während der Tunnelsperrungen sogar geringer als während denselben Zeiten bei geöffnetem Tunnel. Folgende Gründe können zu diesem eher überraschenden Ergebnis geführt haben: gute Kommunikationsstrategie, Wahl der Sperrtage oder kompletter Verkehrszusammenbruch in der Innenstadt.
- Der Mehrverkehr in den Abendstunden (20 bis 24 Uhr) bei Tunnelsperrungen verursachte etwa 10 % höhere NO_x - und NO_2 -Konzentrationen. Die Russbelastung war im demselben Zeitraum um knapp 1 % höher, was im Bereich der Messunsicherheit liegt. Hingegen ist die Feinstaubkonzentration in dieser Periode deutlich geringer, was darauf hindeutet, dass die 10 % höheren NO_x - und NO_2 -Konzentrationen meteorologisch bedingt eher konservativ betrachtet sind.
- Die NO_2 -Zusatzbelastung im 2012 von 2.3 % (Wochentage Montag bis Freitag) beziehungsweise 9.2 % (Samstag und Sonntag) wäre bei gleicher Meteorologie noch wesentlich höher ausgefallen.
- Die Russbelastung war im Jahresmittel während des Sanierungsjahres 2012 im Vergleich zum Referenzjahr 2013 deutlich erhöht.
- Der Russanteil im Feinstaub lag im Jahr 2013 an den Werktagen Montag bis Freitag bei 6.8 % und an den Wochenendtagen bei 5.6 %. Diese unterschiedlichen Anteile dürften mit dem geringeren Verkehrsaufkommen an den Wochenendtagen zusammenhängen, welches an diesem Standort bedeutend zur Russbelastung beiträgt.
- Die Russbelastung liegt an der Messstation Luzern Moosstrasse im Jahresmittel etwa 20-mal höher als der von der EKL empfohlene Richtwert von $0.1 \mu\text{g m}^{-3}$.
- Auch bei den Schadstoffen PM_{10} und NO_2 treten massive Überschreitungen der LRV-Jahresmittelgrenzwerte auf. Die Grenzwertverletzungen sind unabhängig davon, ob Verkehr von der Autobahn über die Stadt umgeleitet wird oder nicht.
- Der Vergleich der Russbelastung Luzern Moosstrasse vs. Sedel für die Monate Januar bis März 2014 zeigt die doppelte bis dreifache Russbelastung an der Station Luzern Moosstrasse. Interessant ist zudem der zeitlich verschobene und stark abgeflachte Abendpeak an der Station Sedel.

- Aufgrund der ungenügenden Verkehrszählungen (nur Gesamtverkehr) können keine plausiblen Emissionsbetrachtungen gemacht werden. Es wird empfohlen, zumindest periodisch mit neuen Verkehrserfassungsmethoden die Verkehrszusammensetzung in der Stadt Luzern zu erheben.

6 Anhang

6.1 Tabellen Cityring-Sperrungen

Tabelle 7 bis Tabelle 9 geben die Art, den Zeitpunkt und die Dauer der Sperrungen wieder. Im Dezember 2012 haben keine Sperrungen mehr stattgefunden. Die Spalten sind wie folgt aufgebaut (Tabelle 6):

Tabelle 6: Verkehrsregime Cityring: Überblick mit Farblegende

| Datum | Fahrtrichtung Nord (Gotthard – Basel) | Fahrtrichtung Süd (Basel – Gotthard) |
|-------|--|--|
| | RP Vollsperrung (24.00-05.30) Nacht | RP Vollsperrung (24.00-05.30) Nacht |
| | So/Mo Nacht (20.00-06.00) | So/Mo Nacht (20.00-06.00) |
| | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00-06.00) | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00-06.00) |
| | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBSU (Sa 07.00-So 16.00)) | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBNO (Sa 07.00-So 16.00)) |
| | Vollsperrung Einfahrt Luzern-Zentrum | Vollsperrung Ausfahrt Luzern-Zentrum WE (Sa 17.00-Mo 05.30) |

Tabelle 7: Verkehrsregime Cityring: 01.01.2012 bis 11.05.2012

| Datum | Fahrtrichtung Norden (Gotthard - Basel) | | | | | Fahrtrichtung Süden (Basel - Gotthard) | | | | |
|------------|---|-----------------------------|--|--|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|---|
| | RP Vollsperrung (24.00 - 05.30) Nacht | So/Mo Nacht (20.00 - 06.00) | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00 - 06.00) | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBSU) (Sa 07.00 - So 16.00) | Vollsperrung Einfahrt Luzern-Zentrum | RP Vollsperrung (24.00 - 05.30) Nacht | So/Mo Nacht (20.00 - 06.00) | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00 - 06.00) | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBNO) (Sa 07.00 - So 16.00) | Vollsperrung Ausfahrt Luzern-Zentrum WE (Sa 17.00 - Mo 05.30) |
| 01.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.01.2012 | | | | | | | | 22.00-06.00 TP4 | | |
| 05.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.01.2012 | | | | | | | | Überprüfung Bau-BZ für Phase 3. | | |
| 09.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.01.2012 | | | | | | | | TP3 | | |
| 12.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.01.2012 | | | | | | | | TP3 | | |
| 19.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.01.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 22.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.01.2012 | | | | | | | | TP3 | | |
| 25.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.01.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 29.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 31.01.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.02.2012 | | | | | | | | TP3 | | |
| 02.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.02.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 05.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.02.2012 | | | | | | | | TP3 | | |
| 07.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.02.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 12.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.02.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP3 | | |
| 16.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.02.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 19.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.02.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP3 | | |
| 22.02.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP4 | | |
| 23.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.02.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 26.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.02.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.03.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP4 | | |
| 02.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.03.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 05.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.03.2012 | | | | | | | | TP4 | | |
| 07.03.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP3 | | |
| 08.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.03.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 12.03.2012 | | | | | | | | ab 24.00 TP3 | | |
| 13.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.03.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 18.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.03.2012 | | | | | | | | | TP3 | |
| 25.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 31.03.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.04.2012 | | | | | | | | | | ab 24.00 TP3 |
| 02.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.04.2012 | | | | | | | | | 22.00-05.00 TP4 | |
| 04.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 12.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.04.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.05.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.05.2012 | | | | | | | | | | |

Tabelle 8: Verkehrsregime Cityring: 12.05.2012 bis 31.07.2012



Tabelle 9: Verkehrsregime Cityring: 01.08.2012 bis 30.11.2012, im Dezember 2012 fanden keine Sperrungen mehr statt

| Datum | Fahrtrichtung Norden (Gotthard-Base) | | | | | Fahrtrichtung Süden (Basel-Gotthard) | | | | |
|------------|---|-----------------------------|--|--|--------------------------------------|---|-----------------------------|--|---|---|
| | RP Vollsperrung Nacht (24.00-05.30) Nacht | So/Mo Nacht (20.00 - 06.00) | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00 - 06.00) | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBSU) (Sa 07.00 - So 16.00) | Vollsperrung Einfahrt Luzern-Zentrum | RP Vollsperrung Nacht (24.00-05.30) Nacht | So/Mo Nacht (20.00 - 06.00) | Stadtableitung (Mo-Fr) Nacht (20.00 - 06.00) | WE (Sa-So) ganztags (Gegenverkehr in Röhre FBSU) (Sa 07.00 - So 16.00) anschließend Stadtableitung FBSU | Vollsperrung Ausfahrt Luzern-Zentrum WE (Sa 17.00 - Mo 05.30) |
| 01.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.08.2012 | | | | | | ab 24.00 TP4 | | | | |
| 03.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.08.2012 | | | | | | ab 24.00 TP4 | | | | |
| 10.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 12.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 31.08.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.09.2012 | ab 00:30 zentras | | | | | | | | | |
| 08.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.09.2012 | ab 00:30 TP4 | | | | | | | | | |
| 12.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.09.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 12.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 31.10.2012 | | | | | | | | | | |
| 01.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 02.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 03.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 04.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 05.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 06.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 07.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 08.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 09.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 10.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 11.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 12.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 13.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 14.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 15.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 16.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 17.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 18.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 19.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 20.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 21.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 22.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 23.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 24.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 25.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 26.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 27.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 28.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 29.11.2012 | | | | | | | | | | |
| 30.11.2012 | | | | | | | | | | |

6.2 Vergleich EC/OC mit BC in Reiden

Im Rahmen von qualitätssichernden Massnahmen wurde vor Messbeginn in Luzern das Aethalometer AE16 in der MfM-U-Station Reiden betrieben, um die Messwerte mit dem thermo-optischen EC/OC-Verfahren zu vergleichen. In Abbildung 15 ist jedes vierte Tagesmittel der beiden Messungen von Reiden vom 26.09.2010 bis am 03.07.2011 dargestellt. Aufgrund der guten Übereinstimmungen wurden die Aethalometer-Messwerte nicht zusätzlich korrigiert.

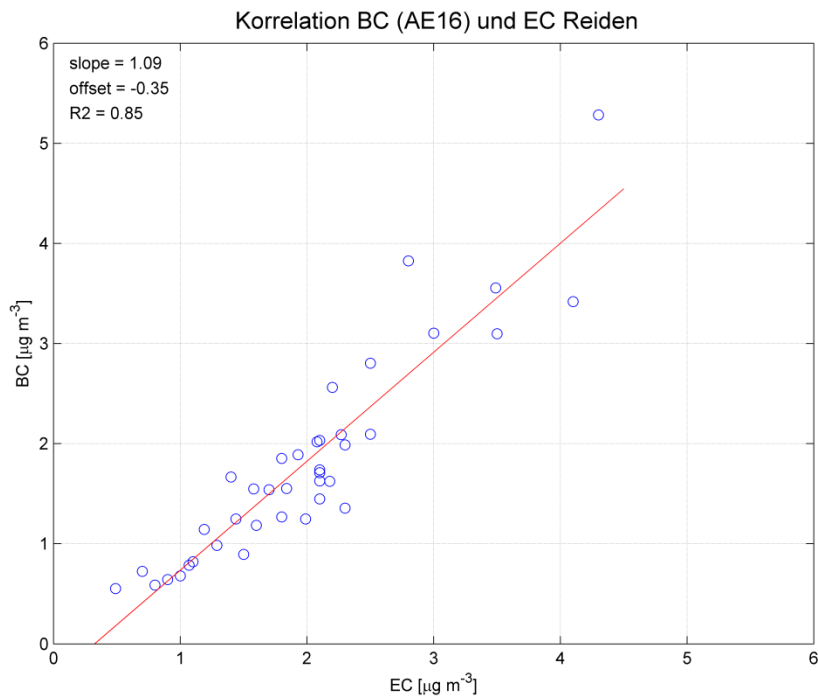


Abbildung 15: Vergleich der Tagesmittel von Black Carbon (BC), ermittelt mittels Aethalometer AE16, und Elemental Carbon (EC), ermittelt mittels thermo-optischem EC/OC-Verfahren in Reiden (Datengrundlage 26.09.2010 bis 03.07.2011, jeden 4. Tag).