

IMMISSIONSBELASTUNG LUZERN BAHNHOFPLATZ



Kurzzeit-Immissionsmessungen Winter 2013/14 im Vergleich zum Winter 2001/02

Version: 02.02.2015

Autoren: Susanne Bieri, inNET Monitoring AG
Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Zusammenfassung

Kontinuierliche Luftschadstoffmessungen, welche im Rahmen des in-LUFT-Projekts durchgeführt werden, zeigen, dass in der Stadt Luzern insbesondere an verkehrsexponierten Lagen die Immissionsbelastung nach wie vor deutlich zu hoch ist. Mit verschiedensten Massnahmen auf eidgenössischer, kantonaler und kommunaler Ebene wird versucht die Immissionsbelastung zu senken. Dies ist nötig, denn neuste medizinische Studien zeigen auf, dass auch bei Belastungen unter den aktuell gültigen Luftreinhaltegrenzwerten mit negativen gesundheitlichen Folgen zu rechnen ist.

Eine der Massnahmen, welche vor mehr als zehn Jahren in die Wege geleitet wurde, ist das Ausrüsten von Dieselnissen mit Filtersystemen. Um den Ausgangszustand der Feinstaubimmissionsbelastung an einem stark mit Dieselnissen-Emissionen belasteten Standort vor der Umrüstung festzuhalten, wurden in den Jahren 2001 und 2002 am Bahnhofplatz in Luzern Feinstaubmessungen durchgeführt. Im Winter 2013/14 wurden als Erfolgskontrolle nach der Ausrüstung aller Linienbusse mit Partikelfiltern ganz in der Nähe des damaligen Standorts wiederum Luftschadstoffimmissionsmessungen durchgeführt. Der Messstandort auf dem Busperron 2 auf dem Bahnhofplatz stellt sowohl einen sehr stark belasteten Standort dar als auch ein Gebiet, in welchem sich sehr viele Leute sehr nah zu den Emissionsquellen aufhalten und folglich diesen Luftschadstoffen ausgesetzt sind.

Grenzwertüberschreitungen

Die auf das ganze Jahr 2013 extrapolierten Werte zeigen, dass im Jahresmittelwert sowohl der PM₁₀- als auch der NO₂-Grenzwert überschritten werden. Der **PM₁₀-Jahresmittelwert** ist mit 26.5 µg m⁻³ praktisch identisch mit dem Jahresmittelwert an der Moosstrasse und liegt gute **30 % über dem entsprechenden Immissionsgrenzwert**. Der **NO₂-Jahresmittelwert** am Bahnhofplatz liegt mit **83.1 µg m⁻³** **mehr als einen Faktor 2.5 über dem Grenzwert** und ist auch massiv höher als an der Moosstrasse.

Während der drei Monate November 2013 bis Januar 2014 wurden der **PM₁₀- bzw. der NO₂- Tagesmittelgrenzwert während 6 bzw. 66 Tagen überschritten**. Gemäss LRV wird je eine einzige Überschreitung pro Jahr toleriert. Ein Vergleich mit anderen Standorten zeigt, dass diese Periode im mehrjährigen Mittel bezüglich PM₁₀ meteorologisch bedingt als eher immissionsarm und bezüglich NO₂ als durchschnittlich einzustufen ist. Folglich stellen die aufgeführten Überschreitungen keine meteorologische Extremsituation dar.

Langjährige Messreihen

Betrachtet man die langjährigen Immissions-Messreihen in der Stadt Luzern, ist seit Messbeginn um 1989 bis etwa ins Jahr 2000 ein Rückgang der NO₂-Immissionsbelastung zu beobachten. Seither **stagniert die NO₂-Belastung an verkehrsexponierten Standorten**. Eine Erklärung liegt darin, dass der Anteil an Fahrzeugen mit Dieselmotor, welche einen grösseren Anteil der Stickoxid-Emissionen (NO_x) direkt als Stickstoffdioxid (NO₂) ausstossen, in den letzten Jahren stark zugenommen hat.

Die **Feinstaubbelastung auf dem Sedel** zeigt eine **leicht rückläufige Tendenz**, wenn auch hier der Trend statistisch nicht signifikant ist. Die Änderung der Belastung beim Bahnhofplatz lässt sich in den Trend vom Sedel einordnen; aufgrund der zwei kurzen Messperioden 2001/02 und 2013/14 sind Interpretationen aber schwierig.

Tagesgänge: Rückgang der PM10-Variation

Der Vergleich der **mittleren PM10-Tagesgänge** zwischen 2001/02 und 2013/14 zeigt, dass im Tagesverlauf der Unterschied **zwischen Minimal- und Maximalwert am Bahnhofplatz deutlich abgenommen** hat. An der Messstation Ebikon, Sedel ist dies hingegen nicht beobachtbar. Der Unterschied am Bahnhofplatz zeigt, dass die tageszeitlich variierenden, lokalen Verkehrsemissionen rückläufig waren. Das ist ein Indiz dafür, dass dank des Einsatzes von **Dieselpartikelfiltern und auch aufgrund des rückläufigen Verkehrsaufkommens** die Belastung quellennah abgenommen hat.

Im mittleren PM10-Tagesgang ist der **prozentuale Rückgang** der Belastung vom Winter 2001/02 zum Winter 2013/14 beim **Bahnhofplatz am Tag viel stärker ausgeprägt als während der Nacht**. Der Rückgang am Tag ist auch viel höher als bei der Messstation Ebikon, Sedel. Dieses unterschiedliche Verhalten ist ein Indiz, dass die **partikelförmigen Verkehrsemissionen überproportional rückläufig** waren.

Gesundheitliche Auswirkungen und Kostenfolgen

Die gesundheitlichen Langfrist-Auswirkungen der Luftbelastung wurden in verschiedenen Langzeitstudien untersucht. Die aktuellsten Studien sprechen von einem **Anstieg der Gesamtmortalität** um 5 bis 6 % pro $10 \mu\text{g m}^{-3}$ PM_{2.5}, pro $1 \mu\text{g m}^{-3}$ Elemental Carbon (EC)¹ und pro $10 \mu\text{g m}^{-3}$ NO₂. Es gilt jedoch zu beachten, dass ein enger Zusammenhang zwischen den Konzentrationen der einzelnen Größen besteht und folglich die prozentualen Anstiege nicht einfach addiert werden können.

Um die Kostenfolgen der Luftverschmutzung in der Stadt Luzern abzuschätzen, wurden mit Hilfe aktueller Fachliteratur Vergleiche mit anderen Regionen durchgeführt. Daraus ergeben sich grob abgeschätzt jährliche **Kostenfolgen der Luftverschmutzung in der Stadt Luzern** von etwa **48 Mio. CHF**.

¹ Russ wird als Elemental Carbon (EC) bezeichnet, wenn er mittels thermo-optischer Analyse auf Feinstaubfiltern bestimmt wird. Dieses Verfahren gilt in Europa als Referenzverfahren zur Bestimmung der Russkonzentration.

Zukünftige Entwicklung

Abschätzungen zur Emissions- und Immissionsentwicklung, welche im Rahmen anderer Arbeiten durchgeführt wurden, zeigen auf, dass auch in Zukunft mit übermässigen Immissionen gerechnet werden muss. Obwohl auf verschiedenen Ebenen Massnahmen ausgearbeitet und umgesetzt wurden, sind **weitere Massnahmen nötig**, sollen die aktuell gültigen Grenzwerte eingehalten werden. Die Stadt Luzern erarbeitet gegenwärtig ihren zweiten Aktionsplan Luft, Energie, Klima, welcher 2015 vom Stadtrat verabschiedet und anschliessend umgesetzt werden soll.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und räumlicher Überblick.....	- 6 -
1.1	Einleitung und Ziele	- 6 -
1.2	Standortbeschreibung	- 7 -
1.3	Verkehrssituation Luzern Seebrücke	- 10 -
2	Abschätzung von Jahresmittelwerten und Jahresgängen	- 12 -
2.1	Extrapolierte Jahresmittelwerte.....	- 12 -
2.2	Extrapolierte Jahresgänge.....	- 12 -
3	Tagesgänge	- 14 -
3.1	Feinstaub PM10.....	- 14 -
3.2	Stickoxide NO ₂ und NO _x	- 16 -
3.3	Vergleich mit weiteren Messstandorten	- 17 -
4	Vergleich der Messperiode Winter 2013/14 an verschiedenen Standorten.....	- 20 -
5	Zeitliche Entwicklung am Bahnhofplatz und weiteren Standorten in der Stadt Luzern (inkl. Ebikon, Sedel)	- 24 -
5.1	Jahresmittelwerte.....	- 24 -
5.2	Saisonale Mittelwerte.....	- 26 -
5.3	Tagesmittel-Grenzwertüberschreitungen.....	- 28 -
6	Zeitliche Entwicklung des NO ₂ /NO _x -Verhältnisses.....	- 30 -
7	Gesundheitliche Auswirkungen	- 31 -
7.1	Allgemein	- 31 -
7.2	Kurzzeiteffekte	- 32 -
7.3	Langzeiteffekte.....	- 32 -
7.4	Kostenfolgen	- 33 -
7.5	Bezug zum Messstandort Luzern, Bahnhofplatz	- 34 -
8	Ausblick	- 35 -
8.1	Entwicklung Emissionen	- 35 -
8.2	Massnahmen in der Stadt Luzern.....	- 36 -
9	Anhang	- 37 -
9.1	Abschätzung von Jahresmittelwerten am Bahnhofplatz	- 37 -

1 Einleitung und räumlicher Überblick

1.1 Einleitung und Ziele

Der Bahnhofplatz in Luzern ist einer der am stärksten frequentierten Plätze der Stadt und liegt am zweitmeist befahrenen kantonalen Strassenabschnitt des Kantons Luzern.² Knapp 40'000 Fahrzeuge überqueren pro Tag die Seebrücke. Der Bahnhof Luzern mit seinem vorgelagerten Busbahnhof ist zudem der wichtigste Knotenpunkt des öffentlichen Stadtverkehrs. Viele Trolleybus- und Autobuslinien der Verkehrsbetriebe Luzern AG (VBL) und weiterer Anbieter verlaufen über den Bahnhof.³ Die grosse Mobilität führt entsprechend zu einer hohen Lärm- und Schadstoff-Belastung für Bevölkerung, Passanten, Pendler und Beschäftigte.

Um die Feinstaub-Immissionsbelastung zu senken, wurde im Jahr 2002 ein Pilotprojekt der Verkehrsbetriebe Luzern in Zusammenarbeit mit der städtischen und der kantonalen Umweltschutzfachstelle gestartet. Die VBL-Dieselbusse wurden mit CRT-Filtersystemen⁴ ausgerüstet, mit denen die Russmissionen um über 90 % gesenkt werden können. Bei CRT-Filtersystemen können aber die Emissionsanteile von Stickstoffdioxid (NO₂) ansteigen. Mit den heute eingesetzten SCRT-Filtersystemen⁵ können sowohl Russ- als auch Stickoxidemissionen gesenkt werden. Um die Ausgangssituation vor der Umrüstung ab 2002 zu ermitteln, führte der Umweltschutz Stadt Luzern in Zusammenarbeit mit dem kantonalen Amt für Umweltschutz (heute Dienststelle Umwelt und Energie, uwe Luzern) von Sommer 2001 bis Sommer 2002 Feinstaubmessungen (PM10) am Bahnhofplatz durch.⁶

Rund 10 Jahre später hat die Firma inNET Monitoring AG im Rahmen des in-LUFT-Basisleistungsauftrags erneut lufthygienische Messungen am Luzerner Bahnhofplatz durchgeführt. Die Messungen fanden von November 2013 bis Mitte Februar 2014 statt und beinhalteten die Schadstoffparameter PM10, NO_x (NO und NO₂) und O₃ sowie meteorologische Parameter.

Nach dieser zweiten Messperiode wurde die Firma inNET Monitoring AG von der Stadt Luzern beauftragt, detaillierte Auswertungen zu den Kurzzeit-Immissionsmessungen am Luzerner Bahnhofplatz vorzunehmen. Ziele dieser Auswertungen sind:

- Die Immissionsbelastung am Bahnhofplatz im städtischen Kontext einzuordnen.
- Die zeitliche Entwicklung der Schadstoffbelastung in der Stadt Luzern aufzuzeigen.
- Die Wirkung der Partikelfiltereinführung bei Bussen aufzuzeigen.
- Die gesundheitlichen Auswirkungen der aktuellen Belastungssituation innerstädtisch und speziell an Hotspots wie dem Bahnhofplatz auf die Bevölkerung aufzuzeigen.

² Monitoring Gesamtverkehr Luzern, Tiefbauamt der Stadt Luzern, Dienststelle Verkehr und Infrastruktur des Kantons Luzern und Verkehrsverbund Luzern, 2013

³ www.vbl.ch [Stand: 10.11.2014]

⁴ Continuous Regeneration Trap

⁵ Selective Catalytic Reduction Technology

⁶ PM10 Messungen am Bahnhofplatz Luzern, 2001 / 2002, Werkstattbericht 2003-2, Stadt Luzern, 2003

1.2 Standortbeschreibung

Abbildung 1 zeigt die geographische Übersichtskarte der zwei Messstandorte von 2001/02 (roter Punkt) und 2013/14 (blauer Punkt) am Bahnhofplatz Luzern. Der Messstandort der Kurzzeit-Immissionsmessungen des Winters 2013/14 wird nachfolgend als „Bahnhofplatz AP“ bezeichnet, derjenige des Winters 2001/02 als „Bahnhofplatz TEOM“. Weiter zeigt Tabelle 1 eine Zusammenfassung der Standortcharakteristiken der zwei Kurzzeit-Immissionsmessungen am Bahnhofplatz. Aufgrund der Platzverhältnisse war es nicht möglich die Messungen am exakt gleichen Standort zu wiederholen. Der Standort von 2001/02 wurde durch die Überdachung des Busperrons möglicherweise etwas beeinflusst. Der Standort von 2013/14 war hingegen etwas näher bei den Quellen.

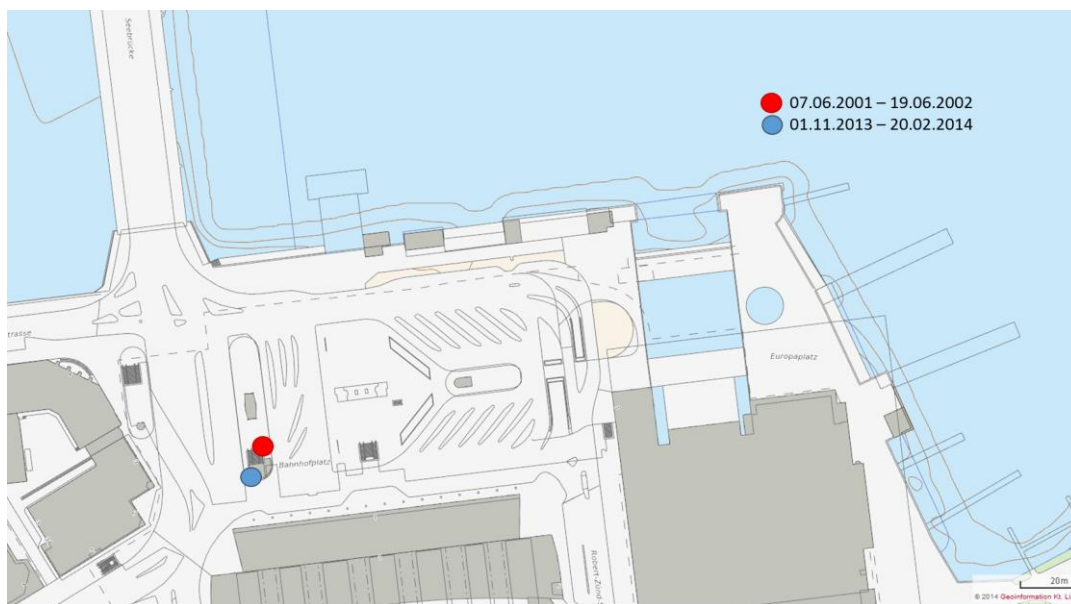


Abbildung 1: Geographische Übersichtskarte der zwei Messstandorte am Bahnhofplatz Luzern

Tabelle 1: Standortbeschreibung der zwei Kurzzeitmessungen am Bahnhofplatz

	Messzeitraum	Koordinaten	Parameter
Messung 2001/02	07.06.2001 bis 19.06.2002	666187 / 211425	PM10
Messung 2013/14	01.11.2013 bis 20.02.2014	666182 / 211415	PM10, NO _x , O ₃

Emmenbrücke

Rote

Reussbühl

Reussthal

Reussgegg

Sadel

Bramberg

Gütsch

Bruchmatt

Eichhof

Gabeldingen

Zühof

Rönningos

Zimmeregg

Gütschwald

Insell

Tribtschen

Dreilinden

Luzern

Legend:

- Bahnhofplatz AP
- Bahnhofplatz [Passivsammler]
- Sternmatt [Passivsammler]
- Moosstrasse
- Museggstrasse
- Ebikon, Sadel

500m

© 2014 GeoInformation Kt. LU

Tabelle 2 zeigt die Unterschiede der zwei Kurzzeit-Immissionsmessungen am Bahnhofplatz auf. Bei der ersten Messung wurde nur die Feinstaubkonzentration (PM₁₀) mit einem TEOM 1400AB gemessen. Bei der zweiten Messung kam der Airpointer (mobile Messeinrichtung, siehe Abbildung 3) zum Einsatz, welcher die PM₁₀-Konzentration mit einem SHARP 5030⁷ misst. Zusätzlich wurden bei der Messung im Winter 2013/14 noch die Immissionsparameter NO_x (NO und NO₂) und O₃ gemessen.

- 8 -



Abbildung 3: Mobile Messeinrichtung "Airpointer" beim Bus-Perron 2.

Für die Messung von PM₁₀ kamen wie oben erwähnt verschiedene Messgeräte zum Einsatz. Gemäss den BAFU-Messempfehlungen⁸ ist der High-Volume-Sampler (HVS), die gravimetrische Messmethode, das Referenzverfahren. Mit dem HVS kann allerdings nicht kontinuierlich gemessen werden. Die sonst eingesetzten Geräte messen kontinuierlich, müssen allerdings die Gleichwertigkeit zum Referenzverfahren nachweisen und/oder zum HVS umgerechnet werden. Im Jahr 2001 wurden umfangreiche PM₁₀-Vergleichsmessungen durchgeführt und Umrechnungsmodelle für die TEOM- und Betameter-Messreihen entwickelt. Die hier und auch im Werkstattbericht 2003-2⁹ verwendeten PM₁₀-Konzentrationen am Bahnhofplatz Luzern von 2001 bis 2002 wurden entsprechend der Modellempfehlungen mit dem Mittelland-Periodenmodell (TEOM ohne Nafion-Dryer) korrigiert.¹⁰ Der Feinstaubmonitor SHARP 5030 wurde in umfangreichen Vergleichsmessungen unter anderen mit dem Referenzverfahren erfolgreich getestet.¹¹

⁸ Empfehlungen, Immissionsmessungen von Luftfremdstoffen, BUWAL, 2004

⁹ PM₁₀ Messungen am Bahnhofplatz Luzern, 2001 / 2002, Werkstattbericht 2003-2, Stadt Luzern, 2003

¹⁰ PM₁₀-Umrechnungsmodelle für Teom- und Betameter-Messreihen, PM₁₀-Vergleichsmessungen, Kooperation von Luftreinhalte-Fachstellen der Kantone AG, GR, LU, ZG, Stadt ZH, EMPA Dübendorf, Infras, 2001

¹¹ Evaluation Airpointer, Parallelmessung: Airpointer – konventionelle Messstation am Standort Altdorf Breitenegg, inNET Monitoring AG, 2012

Tabelle 2: Unterschiede der Feinstaubmessung der zwei Kurzzeit-Immissionsmessungen am Bahnhofplatz

	Modell	Messmethode	Weitere Messparameter
Messung 2001/02	TEOM 1400AB (Rev. 2b)	TEOM mit 30°C	Temperatur, Luftfeuchtigkeit
Messung 2013/14	SHARP 5030	Kombination von Be- tameter und Nephelometer	NO _x , O ₃ , Windrichtung und – geschwindigkeit, Temperatur, Luft- feuchtigkeit

1.3 Verkehrssituation Luzern Seebrücke

Die vif-Verkehrszählstelle Luzern Seebrücke (VZ 71) ist die am nächsten zum Messstandort gelegene Verkehrszählstelle und auch repräsentativ für diesen Standort.¹² An diesem Zählstandort wird der Schwerverkehrsanteil nicht separat erfasst. In Tabelle 3 ist das Verkehrsaufkommen für die Jahre 2002 und 2013 aufgelistet.

Tabelle 3: Durchschnittlicher täglicher Verkehr aller Wochentage (DTV), durchschnittlicher Werktagsverkehr (DWV) und DTV der Wochenendtage Samstag und Sonntag an der Verkehrszählstelle Luzern Seebrücke (VZ 71)

	DTV	DWV	Samstag	Sonntag
2002	43'681	44'908	44'571	36'737
2013	37'295	38'537	37'649	30'775

Um die zeitliche Entwicklung zu betrachten, sind in Abbildung 4 die DTV-Jahresmittelwerte von 2002 bis 2013 dargestellt. Die Zeitreihe zeigt einen statistisch signifikanten Rückgang des DTV von durchschnittlich 474 Fahrzeugen pro Jahr oder gut 1 Prozent. Dies entspricht etwa einem Rückgang von 170'000 Fahrzeugen pro Jahr.

¹² <https://vif.lu.ch/mobilitaet/verkehrszahlen>

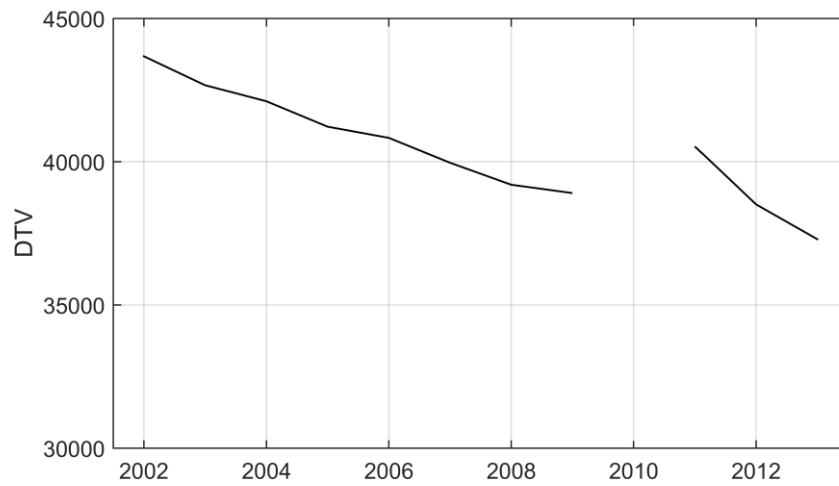


Abbildung 4: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf der Luzerner Seebrücke von 2002 bis 2013. Aufgrund von Bauarbeiten stammt das Jahresmittel von 2009 nur von Daten bis Ende September und im Jahr 2010 wurden keine Daten erfasst.

2 Abschätzung von Jahresmittelwerten und Jahresgängen

Die zweite Kurzzeit-Immissionsmessperiode fand vom 01.11.2013 bis 20.02.2014 statt. Die Messungen von knapp vier Monaten erlauben es nicht einen gültigen Jahresmittelwert oder Jahresgang zu berechnen. Deshalb wurden die Jahresmittelwerte und Jahresgänge am Bahnhofplatz mithilfe der naheliegenden in-LUFT-Station Moosstrasse abgeschätzt. Genauere Informationen zur Methodik sind im Anhang 9.1 zu finden.

2.1 Extrapolierte Jahresmittelwerte

Tabelle 4 zeigt die extrapolierten Jahresmittelwerte für PM₁₀, NO₂ und NO_x der Station Bahnhofplatz AP und die durchgehend gemessenen Werte von Moosstrasse und Ebikon, Sedel für das Jahr 2013. Die PM₁₀-Jahresmittel-Konzentrationen der beiden städtischen Standorte liegen sehr nahe beieinander und sind um etwa 20 % höher als an der Station Ebikon, Sedel. Hingegen wird bei der NO₂- und NO_x-Konzentration ein deutlicher Unterschied erkennbar: Am Bahnhofplatz wird fast die doppelte NO₂-Konzentration gemessen als an der Moosstrasse. Diese Tatsache widerspiegelt sich auch in einer massiven Überschreitung (ungefähr Faktor 2.5) des LRV¹³-Jahresmittel-Grenzwertes.

Tabelle 4: Jahresmittelwerte 2013 für die Stationen Bahnhofplatz AP (extrapolierte Werte), Moosstrasse und Ebikon, Sedel

	<i>LRV-Grenzwert</i>	Bahnhofplatz AP (extrapolierte Werte)	Moosstrasse	Ebikon, Sedel
PM₁₀	<i>20 µg m⁻³</i>	26.5 µg m ⁻³	26.6 µg m ⁻³	22.0 µg m ⁻³
NO₂	<i>30 µg m⁻³</i>	83.1 µg m ⁻³	46.5 µg m ⁻³	22.9 µg m ⁻³
NO_x	-	115.1 ppb	53.4 ppb	22.0 ppb

2.2 Extrapolierte Jahresgänge

In Abbildung 5 sind die Jahresgänge 2013 für die Schadstoffe PM₁₀, NO₂ und NO_x dargestellt. Die Werte der Monate Januar bis Oktober sind für den Standort Bahnhofplatz AP extrapolierte Werte. Beim PM₁₀ haben wir eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem Bahnhofplatz und der Moosstrasse. Hingegen ist die NO₂-Belastung am Bahnhofplatz markant höher als an der Moosstrasse und am Passivsammlerstandort Bahnhofplatz. Der grosse NO₂-Unterschied zwischen den nahe gelegenen Standorten Bahnhofplatz AP und Bahnhofplatz kann damit erklärt werden, dass beim Standort Bahnhofplatz AP praktisch sämtliche Busse am Messstandort vorbeifahren, während direkt beim Passivsammler nur sehr wenige Busse verkehren und dass der Bus-Perron auch viel näher an der stark befahrenen Hauptstrasse liegt.

¹³ Luftreinhalte-Verordnung (LRV), 814.318.142.1 vom 16. Dezember 1985

Die Differenzen der räumlichen Variabilität (Spreizung der Linien in den einzelnen Grafiken) hängen im Wesentlichen von der Verweil- oder Lebensdauer des Stoffes in der Atmosphäre ab. Die geringste Variabilität ist beim PM₁₀ zu finden, welches die grösste durchschnittliche Lebensdauer von 4 bis 6 Tagen aufweist und sich somit gut ausbreiten und verteilen kann.¹⁴ Die Verweildauer von NO₂ und NO beträgt hingegen nur 6 bis 48 Stunden, was eine deutlich geringere Durchmischung zulässt.¹⁵

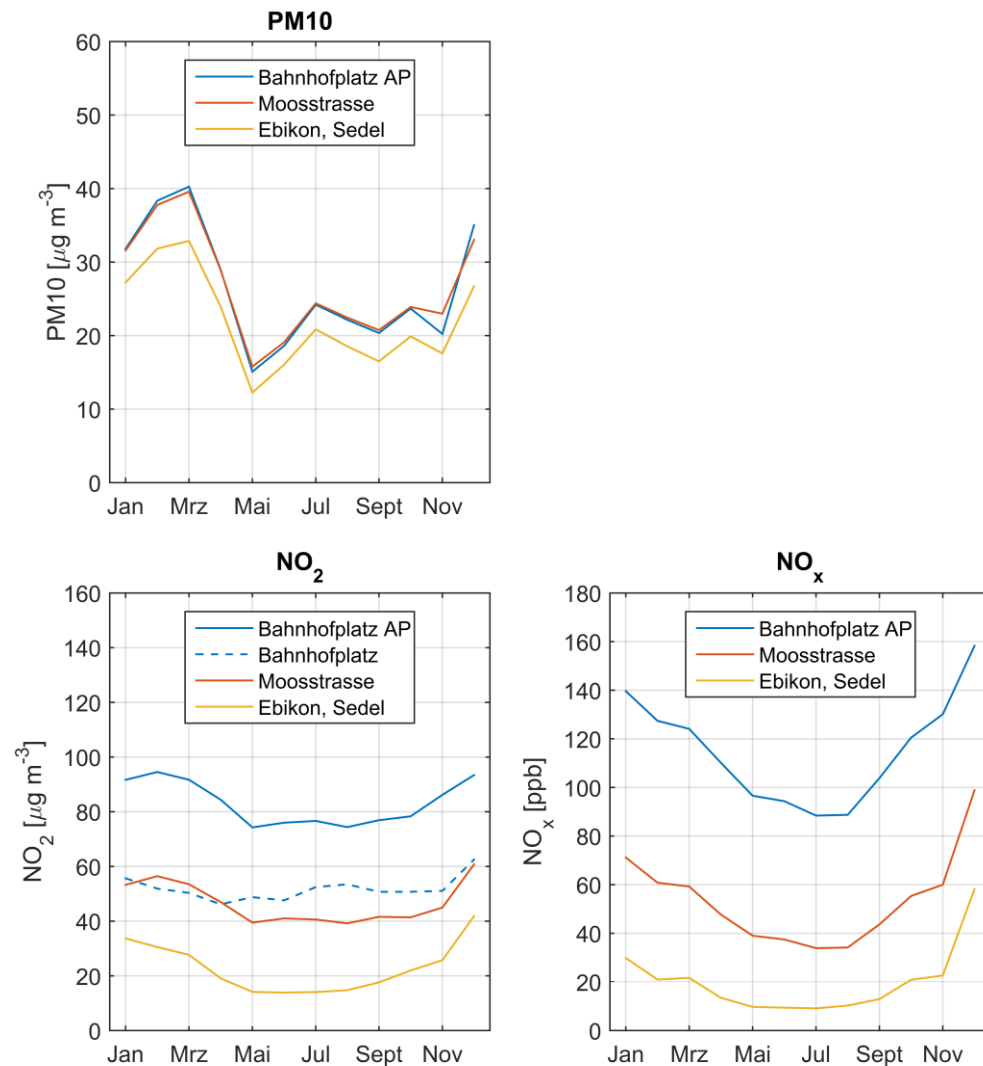


Abbildung 5: Jahresgänge des Jahres 2013, wobei die Monate Januar bis Oktober für den Standort Bahnhofplatz AP extrapolierte Werte sind.

¹⁴ Umweltchemie, 3. aktualisierte Auflage, Wiley-VCH Verlag, Claus Bliefert, 2002

¹⁵ Chemie der Nichtmetalle: mit Atombau, Molekülgeometrie und Bindungstheorie, 2. Auflage, de Gruyter Verlag, Ralf Steudel, 1998

3 Tagesgänge

Die Messung von hoch aufgelösten Daten erlaubt es, über einen gewissen Zeitraum mittlere Tagesgänge zu berechnen. Abbildung 6 bis Abbildung 9 zeigen die gemittelten Tagesgänge für den Winter 2001/02 (links) und Winter 2013/14 (rechts), unterschieden nach allen Tagen, den Werktagen Montag bis Freitag und den Wochenendtagen Samstag und Sonntag.

3.1 Feinstaub PM10

Zwischen den zwei Messperioden ist ein deutlicher Unterschied der mittleren Feinstaubbelastung erkennbar. Die Höhe der Belastung wird aber stark von den meteorologischen Bedingungen beeinflusst und kann somit nicht einfach von Jahr zu Jahr verglichen werden.

Interessant ist es aber, wenn die mittleren Tagesgänge dieser beiden Perioden verglichen werden. Der PM10-Tagesgang ist beim Bahnhofplatz im Winter 2001/02 viel stärker ausgeprägt als im Winter 2013/14 (Abbildung 6). Die tageszeitlich variierenden Verkehrsemissionen hatten im Winter 2001/02 offensichtlich noch einen viel stärkeren Einfluss auf die lokalen PM10-Immissionen als im Winter 2013/14. Das ist ein Indiz dafür, dass die nahe am Messstandort emittierte Feinstaubmenge abgenommen hat.

Die Station Ebikon, Sedel ist kaum von lokalen Emissionen beeinflusst und misst deshalb die regionale Hintergrundbelastung. Hier ist die Variation der PM10-Tagesgänge für beide Perioden praktisch identisch (Abbildung 7). Einzig das Niveau der Schadstoffbelastung ist während des Winters 2013/14 vorwiegend meteorologisch bedingt deutlich tiefer. Auch der Vergleich der mittleren Tagesgänge 2001/02 und 2013/14 der Stationen Ebikon, Sedel und Bahnhofplatz zeigt demnach, dass der Rückgang der Tagesvariation am Bahnhofplatz stark emissionsbedingt ist. Erfolgreich eingeführte Dieselpartikelfilter und der Rückgang des lokalen Verkehrsaufkommens haben zu dieser Reduktion der Feinstaub-Belastung beigetragen.

Des Weiteren zeigt sich in beiden Winter-Messperioden ein Anstieg der PM10-Konzentration im Verlauf des Tages. Der Grund dieses Anstiegs im Tagesverlauf hängt, nebst den Emissionen, mit der sekundären Feinstaubbildung von PM10 aus gasförmigen Vorläufersubstanzen wie zum Beispiel Stickoxide oder Ammoniak zusammen.

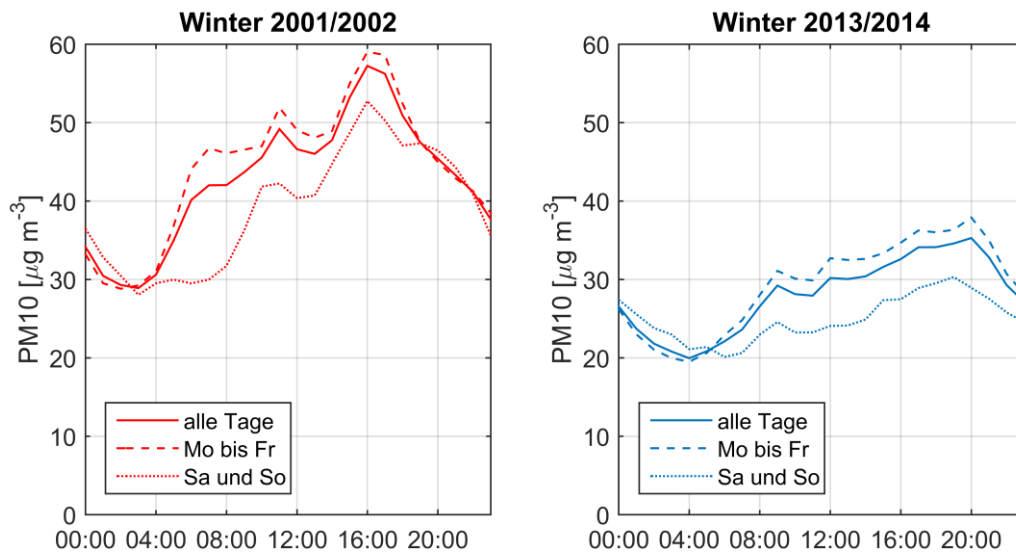


Abbildung 6: Gemittelte PM10-Tagesgänge für Winter 2001/02 (links) und Winter 2013/14 (rechts) am Bahnhofplatz, unterschieden nach allen Tagen, Werktagen Montag bis Freitag und Wochenenden (Sa und So).

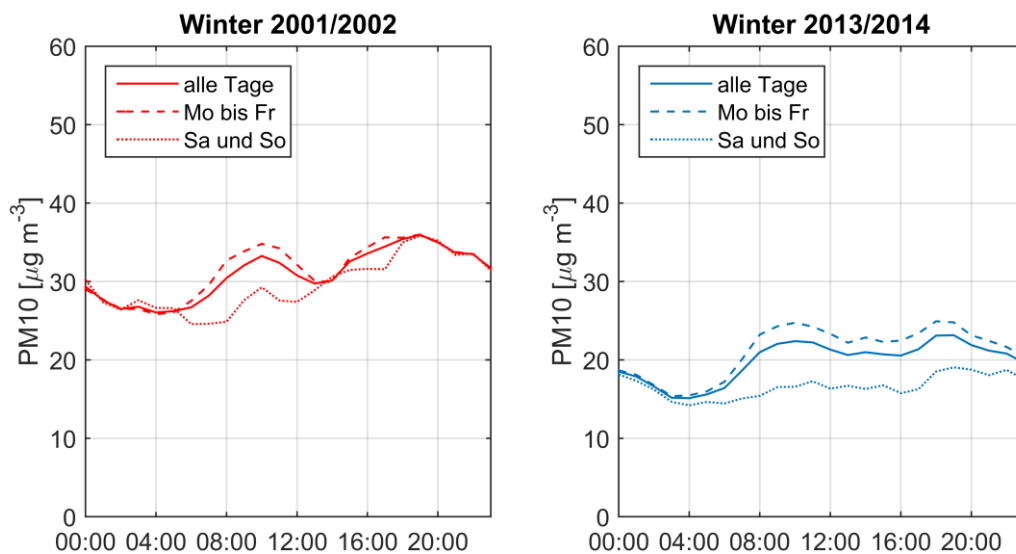


Abbildung 7: Gemittelte PM10-Tagesgänge für Winter 2001/02 (links) und Winter 2013/14 (rechts) bei der Messstation Ebikon, Sedel, unterschieden nach allen Tagen, Werktagen Montag bis Freitag und Wochenenden (Sa und So).

Abbildung 8 zeigt die relative Abnahme der PM10-Konzentration vom Winter 2001/02 zum Winter 2013/14 an den beiden Standorten Bahnhofplatz und Ebikon, Sedel im Tagesverlauf. Auf dem Sedel ist der Rückgang während der Nacht (ca. 40 %) leicht stärker ausgeprägt als während des Tages (ca. 32 %). Am verkehrsexponierten Standort Bahnhofplatz ist hingegen ein viel stärker ausgeprägter Tagesgang der Differenzen beobachtbar. Die maximale Abnahme (bis 45 %) findet während des Tages statt. Während der Nacht beträgt der PM10-Rückgang am Bahnhofplatz zwischen 22 % und 30 %.

Dieses unterschiedliche Verhalten der beiden Tagesgänge liefert ein weiteres Indiz, dass die Verkehrsemissionen rückläufig sind, denn diese sind insbesondere während des Tages und an verkehrsnahen Standorten relevant. Für den leicht geringeren Rückgang der Immissionen während des Tages im Vergleich zur Nacht an der Messstation Ebikon, Sedel konnte keine abschliessende Erklärung gefunden werden.

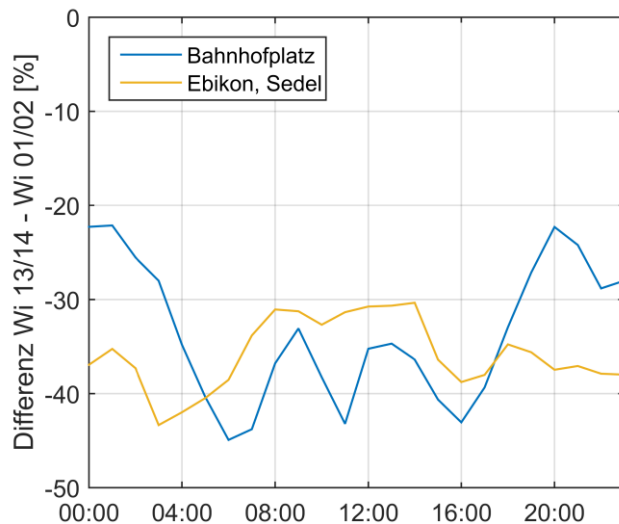


Abbildung 8: Relative Differenz (Winter 2013/14 minus Winter 2001/02) des PM10-Tagesgangs am Bahnhofplatz und auf dem Sedel.

3.2 Stickoxide NO₂ und NO_x

Die Stickoxide wurden nur während der zweiten Kurzzeitmessung 2013/14 kontinuierlich gemessen. Der Unterschied zwischen Werktagen und Wochenenden tritt bei den stark verkehrsassoziierten Parametern wie NO₂ und NO_x deutlicher hervor (Abbildung 9). Beim Vergleich zwischen den Werktagen (Montag bis Freitag) und dem Wochenende (Samstag und Sonntag) fällt auf, dass insbesondere der morgendliche Peak an den Wochenenden wegfällt. Die Ursache dafür liegt im Ausbleiben des morgendlichen Pendlerverkehrs am Wochenende.

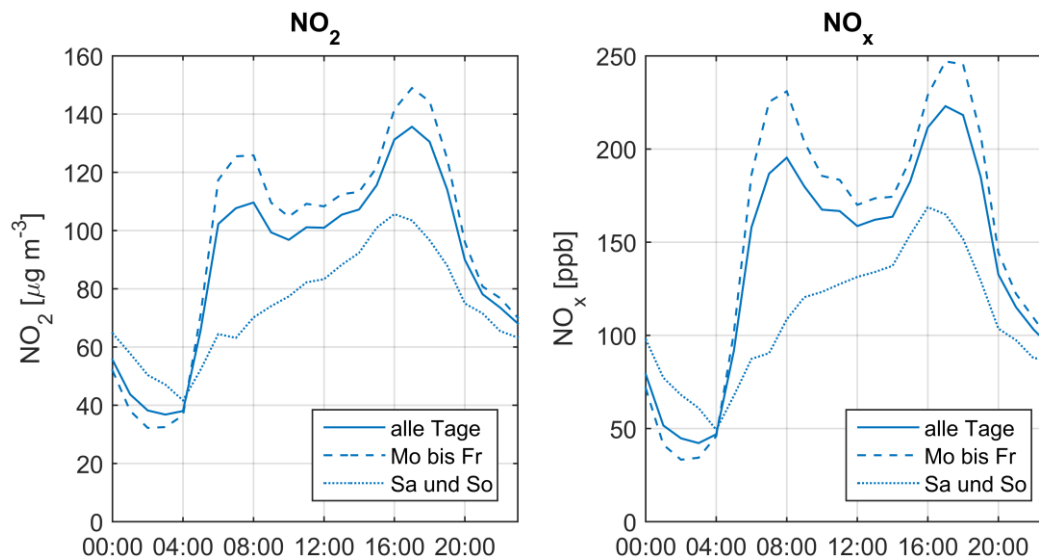


Abbildung 9: Gemittelter Tagesgang (vom 01.11.2013 bis 20.02.2014) der NO_2 - (links) und NO_x -Konzentration (rechts) am Standort Bahnhofplatz AP, unterschieden nach allen Tagen, Werktagen Montag bis Freitag und Wochenenden (Sa und So).

3.3 Vergleich mit weiteren Messstandorten

Um die gemittelten Tagesgänge am Standort Bahnhofplatz AP einzuordnen, wurden dieselben Tagesgänge für die Standorte Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Reiden berechnet. Sie sind gebündelt in Abbildung 10 zu finden. An der Station Reiden werden keine kontinuierlichen PM_{10} -Messungen mehr durchgeführt. Zusätzlich zeigt Tabelle 5 eine Zusammenstellung der Differenzen (Maximum minus Minimum) der Tagesgänge der Werktage und Wochenenden.

Der Tagesverlauf der PM_{10} -Konzentration ist an allen Stationen sehr ähnlich. Die Station Ebikon, Sedel zeigt die geringste Veränderung im Tagesverlauf.

Die NO_2 - und NO_x -Konzentrationen zeigen im Tagesverlauf hingegen Unterschiede zwischen den Stationen. Alle Stationen zeigen einen „Peak-Verlauf“ mit einem Vormittags- und einem Nachmittags-Peak. Dieser ist allerdings an der Station Bahnhofplatz AP am deutlichsten ausgeprägt. An Werktagen macht der Unterschied zwischen dem Minimum morgens um 04:00 Uhr und dem Maximum am Nachmittag $116 \mu\text{g m}^{-3} \text{NO}_2$ aus. Die Station Ebikon, Sedel zeigt an Werktagen nur eine Veränderung um $33 \mu\text{g m}^{-3}$. Grund ist der starke Einfluss der lokalen Emissionen beziehungsweise der Umstand, dass so quellennah keine starke Verdünnung der Schadstoffe möglich ist.

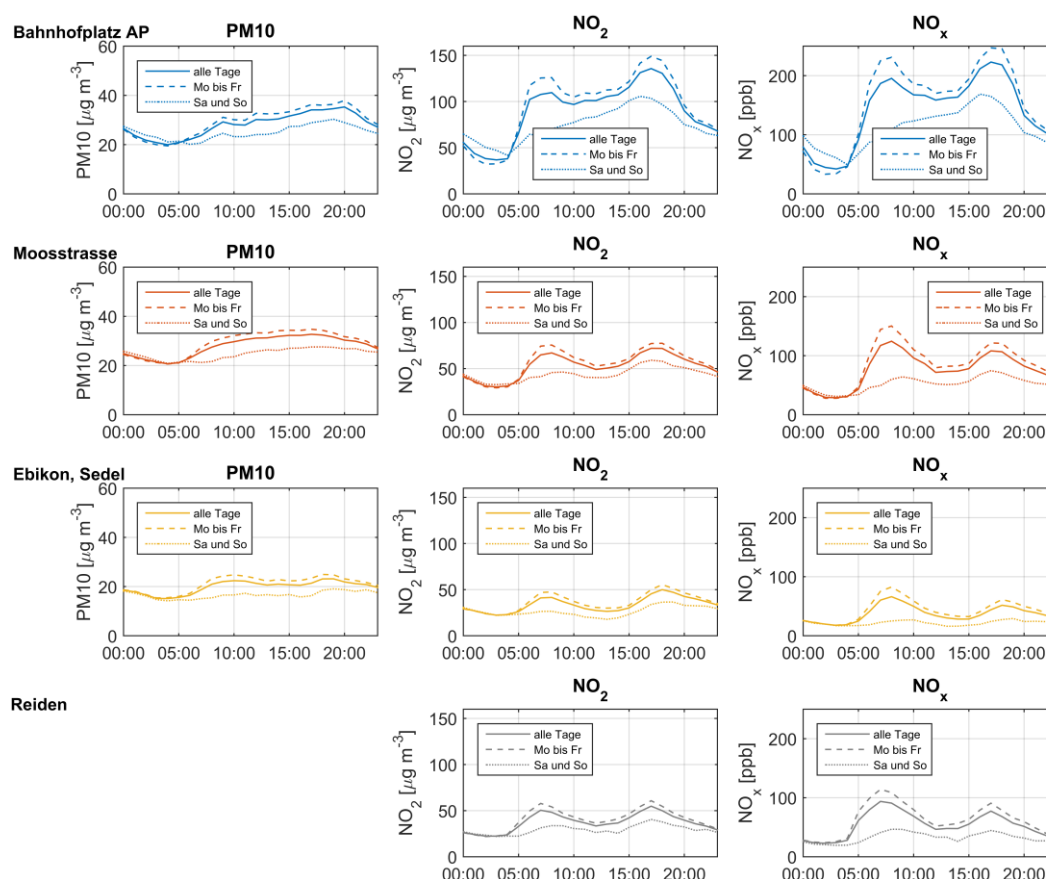


Abbildung 10: Gemittelter Tagesgang (vom 01.11.2013 bis 20.02.2014) der PM10- (links), NO₂- (Mitte) und NO_x-Konzentration (rechts) an den Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Reiden. Für die Messstation Reiden sind keine hochaufgelösten PM10-Messungen vorhanden.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Deltas (Maximum minus Minimum der 1-Stundenwerte) der gemittelten Tagesgänge (vom 01.11.2013 bis 20.02.2014), unterschieden nach PM10, NO₂ und NO_x an den Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Reiden. Für die Messstation Reiden sind keine hochaufgelösten PM10-Messungen vorhanden.

		Δ PM10 [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Δ NO ₂ [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Δ NO _x [ppb]
Bahnhofplatz AP	Mo bis Fr	18.4	116.7	213.8
	Sa und So	10.2	64.0	119.5
Moosstrasse	Mo bis Fr	14.1	48.3	122.4
	Sa und So	6.7	26.4	43.7
Ebikon, Sedel	Mo bis Fr	9.5	33.0	64.8
	Sa und So	4.8	18.8	13.1
Reiden	Mo bis Fr	-	38.8	90.3
	Sa und So	-	18.4	27.2

Abbildung 11 zeigt den gemittelten Tagesgang des NO_2/NO_x -Verhältnisses an den Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel. Weniger verkehrsexponierte Standorte zeigen ein höheres NO_2/NO_x -Verhältnis als stark verkehrsbelastete Standorte. Der Bahnhofplatz in Luzern zeigt denn auch im Tagesverlauf das tiefste NO_2/NO_x -Verhältnis. Grund dafür ist, dass je weiter eine Messstation von den Verkehrsemissionen entfernt ist, desto mehr Zeit ist für die Umwandlung von NO zu NO_2 vorhanden.

Am Morgen nimmt das NO_2/NO_x -Verhältnis rasch ab. Diese Abnahme ist bedingt durch den zunehmenden Verkehr, der vor allem NO emittiert. Im Tagesverlauf ist dann, bedingt durch die Umwandlung von NO zu NO_2 , wieder eine Zunahme des NO_2/NO_x -Verhältnisses zu verzeichnen. Diese Zunahme ist am deutlichsten an der Station Sedel ausgeprägt, welche die grösste Distanz zum Strassenverkehr aufweist. Mit dem abendlichen NO_x -Peak ist nochmals ein leichter Rückgang des NO_2/NO_x -Verhältnisses zu verzeichnen.

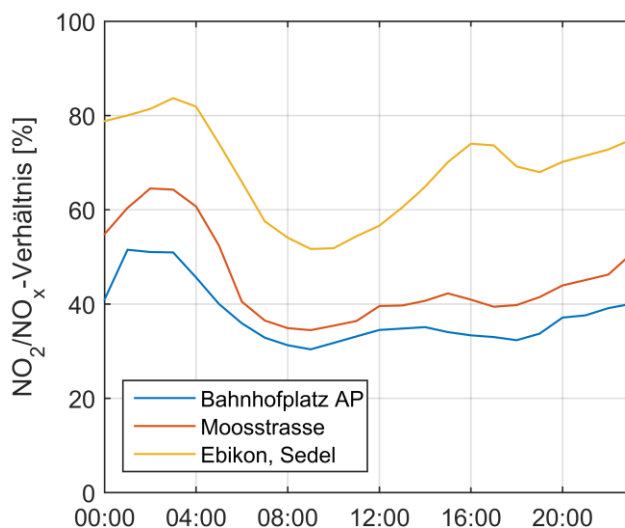


Abbildung 11: Gemittelter Tagesgang (vom 01.11.2013 bis 20.02.2014) des NO_2/NO_x -Verhältnisses an den Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel

4 Vergleich der Messperiode Winter 2013/14 an verschiedenen Standorten

Der Winter 2013/2014 war in der Schweiz der drittwärmste seit Beginn der Messungen vor 150 Jahren und von ungewohnt häufigen Wetterlagen mit Strömungen aus südwestlicher und südlicher Richtung geprägt. Diese Wetterlagen haben in der Regel einen positiven Effekt auf die Immissionssituation (geringe Luftbelastung durch gute atmosphärische Durchmischung). Es lohnt sich deshalb, die Immissionsmessungen des Winters 2013/14 in Bezug zu einem mehrjährigen Mittelwert zu setzen. Für den mehrjährigen Mittelwert werden die Winter 2010/11, 2011/12 und 2012/13 gewählt, da 2010 die Messstation Moosstrasse in Betrieb genommen wurde.

Abbildung 12 zeigt die mehrjährigen Periodenmittelwerte 2010 bis 2013 (Winter 2010/11, 2011/12 und 2012/13) und den Periodenmittelwert 2013/14 für die drei Messstationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel. Im Vergleich zum mehrjährigen Periodenmittelwert weist der Winter 2013/2014 eine relativ tiefe PM10-Belastung aus. Die NO₂- und NO_x-Belastung ist hingegen vergleichbar mit dem mehrjährigen Periodenmittelwert. Demnach unterschätzen die Messungen vom Winter 2013/14 die effektive Feinstaub-Belastung am Bahnhofplatz.

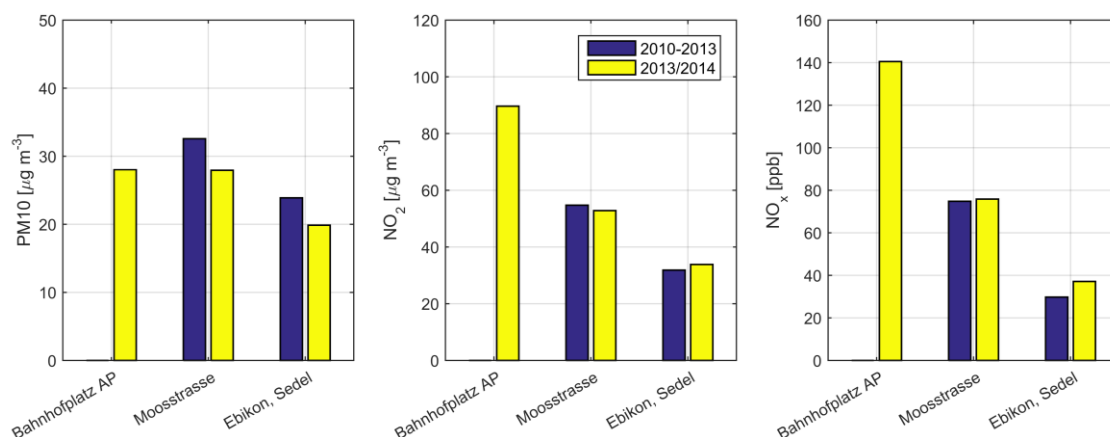


Abbildung 12: PM10-, NO₂- und NO_x-Periodenmittelwerte 1. November bis 20. Februar für ein Mehrjahresmittel (2010 bis 2013) und die Winterperiode 2013/14 für die Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel.

Wird der Winter 2013/14 in einen langjährigen Kontext gestellt, zeigen sich insbesondere bei der NO₂-Konzentration keine Auffälligkeiten (Abbildung 13). Seit 1999 zeigen die NO₂-Konzentrationen in den Wintermonaten November bis Januar relativ konstante bis sogar leicht zunehmende Tendenzen. Im Vergleich zu den Vorjahren reiht sich der Winter 2013/14 gleichmässig in die zeitliche Entwicklung ein.

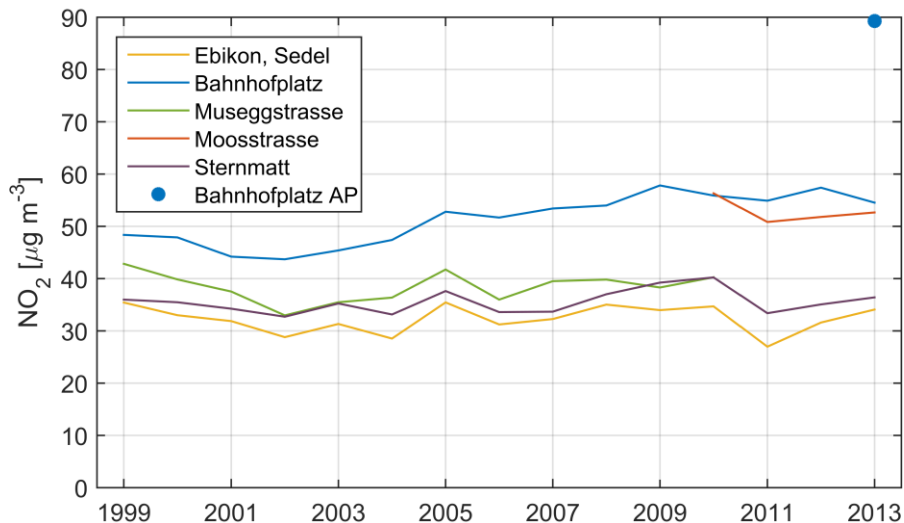


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Wintermittel (November, Dezember, Januar) der NO₂-Konzentration an fünf Stadt-Messstationen (Bahnhofplatz [Passivsammler], Sternmatt [Passivsammler], Moosstrasse, Museggstrasse und Bahnhofplatz AP) sowie Ebikon, Sedel und die Kurzzeitmessungen am Standort Bahnhofplatz AP (blauer Punkt)

Weiter wurden mittlere Wochengänge der PM₁₀-, NO₂- und NO_x-Konzentration für den Winter 2013/14 und das mehrjährige Wintermittel 2010 bis 2013 berechnet (Abbildung 14). Wie schon vorher bei den Periodenmittelwerten ist erkennbar, dass sich die NO₂- und NO_x-Konzentrationen im Winter 2013/2014 nur marginal vom langjährigen Mittel unterscheiden. Hingegen zeigen die PM₁₀-Konzentrationen deutliche Unterschiede mit viel tieferen Konzentrationen im Winter 2013/14 als im Mehrjahresmittel. Der ungewöhnlich hohe PM₁₀-Wert am Montag an der Moosstrasse ist auf ausserordentlich hohe Emissionen aufgrund von Bautätigkeiten in unmittelbarer Nähe zur Messstation im Jahr 2011 zurückzuführen.

Mit Abbildung 14 lassen sich die verschiedenen Standorte gut vergleichen: Auch im Wochengang zeigt die Station Bahnhofplatz AP die deutlich höchste NO₂- und NO_x-Belastung, welche auch an Samstagen und Sonntagen nicht unter das Niveau der Stadt-Station Moosstrasse fällt. Dies, obwohl die Differenz Werkstage zu Sonntag am Bahnhofplatz am stärksten ausgeprägt ist.

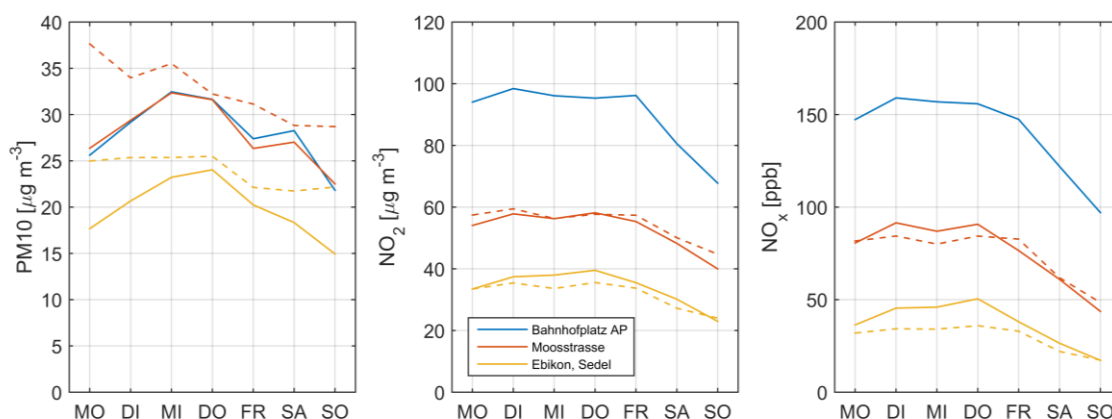


Abbildung 14: Wochengang der PM10-, NO₂- und NO_x-Konzentration an den drei Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel für zwei Zeitperioden (Winter 2013/14 [ausgezogene Linien] und mehrjähriges Mittel Winter 2010 bis 2013 [gestrichelte Linien]), jeweils gemittelt über die Periode von 01.11. bis 20.02.

In der LRV existieren nebst den Grenzwerten für Jahresmittel auch Tagesmittel-Grenzwerte für PM10 und NO₂. Gemäss LRV dürften letztere nur einmal pro Jahr überschritten werden. Tabelle 6 zeigt eine Zusammenstellung der monatlichen Tagesmittel-Grenzwertüberschreitungen von PM10 für die Stationen Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Bahnhofplatz AP, unterteilt in ein mehrjähriges Mittel 2010 – 2013 und die Winterperiode 2013/14. In Tabelle 7 ist derselbe Sachverhalt für NO₂ dargestellt. Die Stationen Moosstrasse und Ebikon, Sedel weisen nur wenige LRV-Tagesmittel-Grenzwertüberschreitungen für PM10 und NO₂ auf. Am Bahnhofplatz hingegen wurde an 66 Tagen der NO₂-Tagesmittel-Grenzwert und an 6 Tagen der PM10-Tagesmittel-Grenzwert überschritten.

Tabelle 6: Zusammenstellung der LRV-Grenzwertüberschreitungen der PM10-Tagesmittel für die drei Stationen Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Bahnhofplatz AP der Wintermonate November, Dezember und Januar seit 2010

Moosstrasse		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	PM10	1.3	0
Dez.	PM10	2.3	2
Jan.	PM10	4.3	2
Ebikon, Sedel		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	PM10	0	0
Dez.	PM10	0.7	1
Jan.	PM10	1	2
Bahnhofplatz AP		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	PM10	-	0
Dez.	PM10	-	3
Jan.	PM10	-	3

Tabelle 7: Zusammenstellung der LRV-Grenzwertüberschreitungen der NO₂-Tagesmittel für die drei Stationen Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Bahnhofplatz AP der Wintermonate November, Dezember und Januar seit 2010

Moosstrasse		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	NO ₂	0	0
Dez.	NO ₂	1.7	3
Jan.	NO ₂	0.7	0

Ebikon, Sedel		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	NO ₂	0	0
Dez.	NO ₂	0	0
Jan.	NO ₂	0	0

Bahnhofplatz AP		Mittel 2010 - 2013	2013/2014
Nov.	NO ₂	-	22
Dez.	NO ₂	-	23
Jan.	NO ₂	-	21

Abschliessend ist in Abbildung 15 das NO₂/NO_x-Verhältnis für die Messstationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse und Ebikon, Sedel sowie die Autobahn-Station Reiden als Mittelwert über die Periode vom 01.11.2013 bis 20.02.2014 dargestellt. Im Allgemeinen kann man sagen, dass je kleiner dieses Verhältnis ist, desto verkehrsexponierter ist der entsprechende Messstandort, da die Umwandlung von NO zu NO₂ noch nicht vollständig stattgefunden hat (siehe auch Kapitel 3.3).

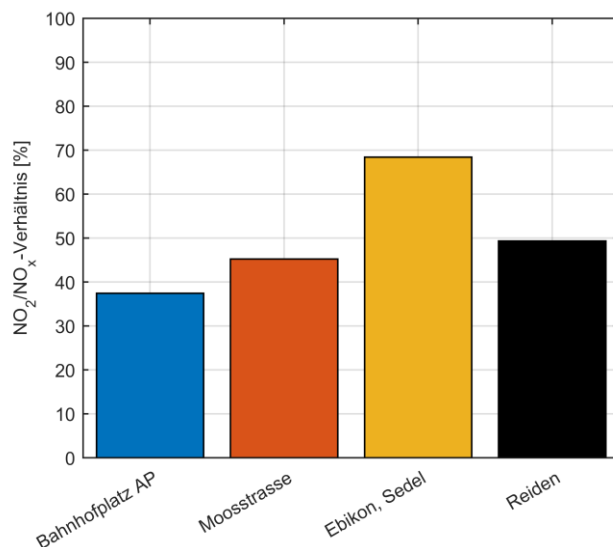


Abbildung 15: NO₂/NO_x-Verhältnis an den vier Stationen Bahnhofplatz AP, Moosstrasse, Ebikon, Sedel und Reiden, berechnet als Mittelwert über die Periode vom 01.11.2013 bis 20.02.2014.

5 Zeitliche Entwicklung am Bahnhofplatz und weiteren Standorten in der Stadt Luzern (inkl. Ebikon, Sedel)

5.1 Jahresmittelwerte

Abbildung 16 zeigt die zeitliche Entwicklung der PM10-Konzentration. Die PM10-Jahresmittel sind stark witterungsbedingt und können je nach vorherrschendem Witterungsregime von Jahr zu Jahr schwanken. Die längste Messreihe vom Sedel zeigt eine leichte, statistisch nicht signifikante Abnahme der PM10-Konzentration von $0.2 \mu\text{g m}^{-3}$ pro Jahr, welche kaum nur meteorologisch bedingt ist. Die beiden Kurzzeitmessungen beim Bahnhofplatz zeigen eine ähnliche Tendenz, aber aufgrund der kurzen Messdauer wäre es vermessen, die beiden Momentaufnahmen einander direkt gegenüber zu stellen. Im Jahr 2013 weisen beide noch aktiven Stationen (Moosstrasse und Ebikon, Sedel) eine Überschreitung des LRV-Jahresmittel-Grenzwertes auf.

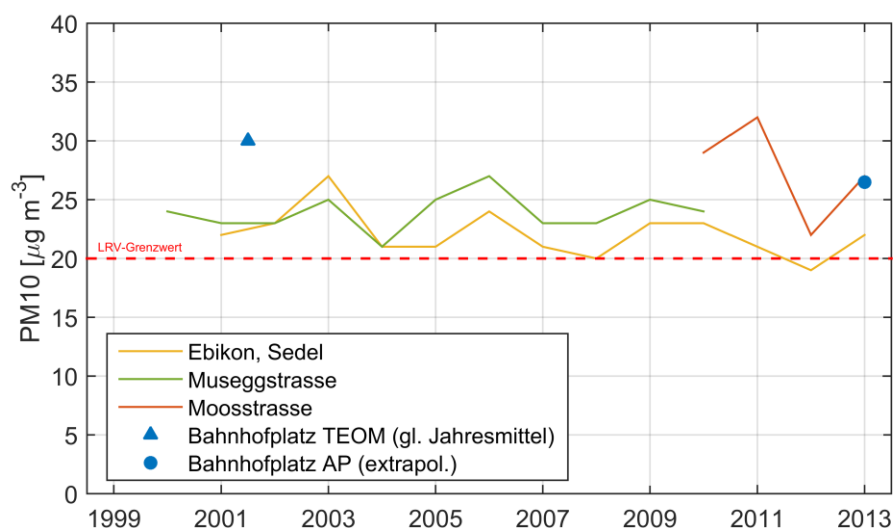


Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der PM10-Konzentration an zwei Stadt-Stationen (Moosstrasse und Museggstrasse) sowie Ebikon, Sedel seit 2001, das blaue Dreieck steht für den gleitenden Jahresmittelwert beim Bahnhofplatz der Messperiode Juni 2001 bis Juni 2002 und der blaue Kreis steht für den extrapolierten Jahresmittelwert 2013 der Airpointer-Messungen beim Bahnhofplatz

An der Messstation Ebikon, Sedel und an einigen Passivsammlerstandorten werden seit Ende der 1980er Jahre NO_2 -Immissionsmessungen durchgeführt. Diese langen Zeitreihen zeigen Abnahmen der Immissionsbelastung bis etwa ins Jahr 2000 und seither eine konstante Immissionsbelastung (Abbildung 17). Bemerkenswert ist die sehr hohe Belastung am Standort Bahnhofplatz mit rund $50 \mu\text{g m}^{-3}$ NO_2 im Jahresmittel seit Ende der 90er Jahre. Obwohl die Belastung gegenüber dem Busperron (Jahresmittelwert 2013 von $83 \mu\text{g m}^{-3}$) mit zunehmendem Abstand von der Hauptstrasse abnimmt, beträgt sie am Passivsammler-Standort im Jahresmittel 2013 noch immer $52 \mu\text{g m}^{-3}$ (62 Prozent). Das zeigt, dass die Dieselbusse einen wesentlichen Beitrag zur Stickoxidbelastung auf dem Bahnhofplatz leisten.

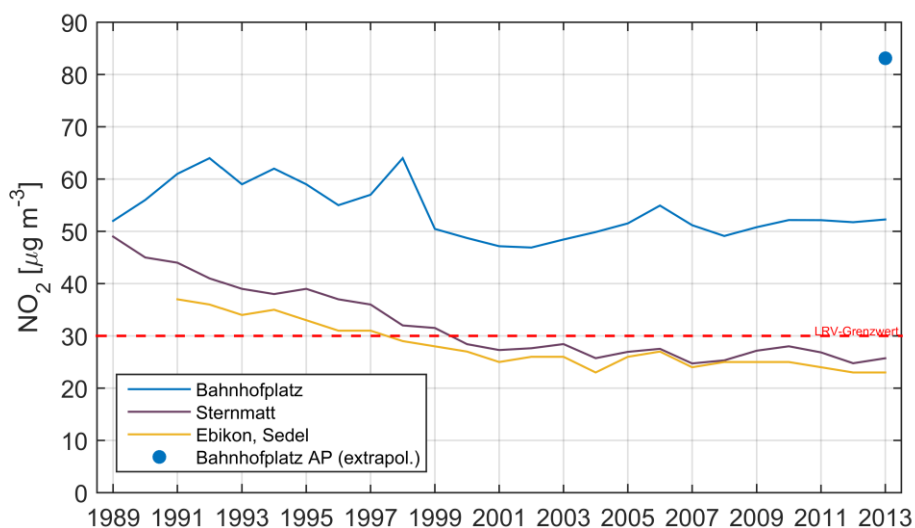


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der NO₂-Konzentration an zwei Stadt-Messstationen (Bahnhofplatz [Passivsammler], Sternmatt [Passivsammler]) sowie Ebikon, Sedel seit 1989, der blaue Kreis steht für den extrapolierten Jahresmittelwert 2013 der Airpointer-Messungen beim Bahnhofplatz

An den meisten anderen Standorten in der Stadt Luzern sind Messdaten seit 1999 vorhanden. In Abbildung 18 ist die NO₂-Entwicklung seit 1999 an diversen Stadt-Stationen dargestellt, wobei die Daten vom Bahnhofplatz und von der Sternmatt von Passivsammlermessungen stammen. An den meisten Stationen ist über die letzten 15 Jahre kaum eine Veränderung der NO₂-Belastung festzustellen. Einzig die Station Ebikon, Sedel weist eine statistisch signifikante Abnahme von -0.25 µg m⁻³ pro Jahr auf. Die zwei Stationen Bahnhofplatz und Moosstrasse zeigen seit Messbeginn massiv über dem LRV-Jahresmittel-Grenzwert liegende NO₂-Belastungen.

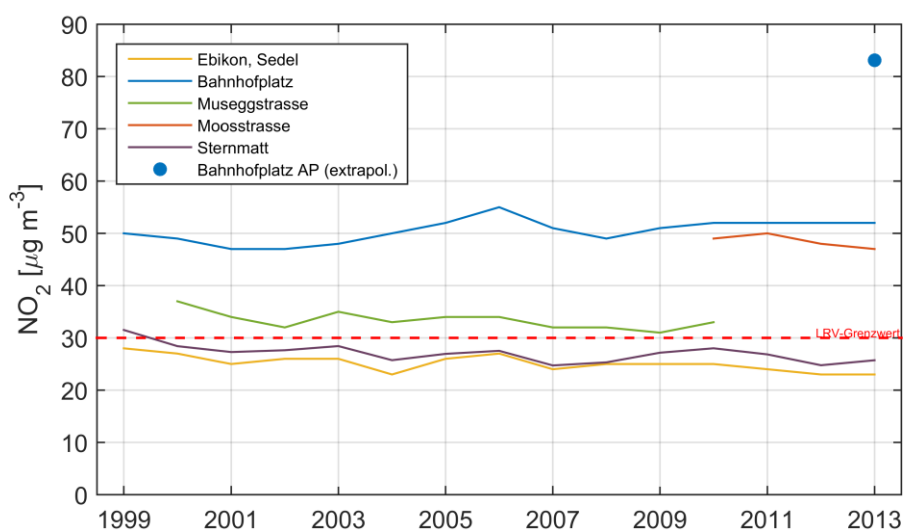


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der NO₂-Konzentration an vier Stadt-Messstationen (Bahnhofplatz [Passivsammler], Sternmatt [Passivsammler], Moosstrasse und Museggstrasse) sowie Sedel seit 1999, der blaue Kreis steht für den extrapolierten Jahresmittelwert 2013 der Airpointer-Messungen beim Bahnhofplatz

5.2 Saisonale Mittelwerte

Nebst der allgemeinen zeitlichen Entwicklung der Schadstoffe können saisonale Analysen helfen, den Effekt verschiedener Emissionsquellen auf die Immissionsbelastung aufzuzeigen. Abbildung 19 bis Abbildung 21 zeigen Sommermittelwerte (April bis September, durchgezogene Linien) und Wintermittelwerte (Oktober bis März, gestrichelte Linien) der PM₁₀-, NO₂- und NO_x-Konzentration. Das Jahr auf der x-Achse bezeichnet jeweils den Startpunkt der Saison (der Wert der Wintermittelwerte von 2005 steht für Oktober 2005 bis März 2006). Hier wurden die Daten bis Ende März 2014 analysiert.

Bei beiden Schadstoffen ist der deutliche Unterschied zwischen Sommer und Winter ersichtlich. Aufgrund zusätzlicher Quellen (Heizungen) und schlechterer Ausbreitungsbedingungen ist die Immissionsbelastung im Winter generell höher als im Sommer.

Bei der PM₁₀-Belastung zeichnet sich ein Trend bei den Wintermittelwerten ab. An der Messstation Sedel beträgt der PM₁₀-Rückgang im Winter -0.41 $[-0.79 \text{ bis } -0.02]$ ¹⁶ $\mu\text{g m}^{-3}$ pro Jahr. Im Sommerhalbjahr ist hingegen kein Trend sichtbar. Ob die winterlichen Feuerungsemissionen stärker abnehmen als die ganzjährigen Verkehrsemissionen oder ob die Bildung von sekundären Aerosolen für diese saisonale Diskrepanz verantwortlich ist, kann anhand der vorliegenden Daten nicht geklärt werden.

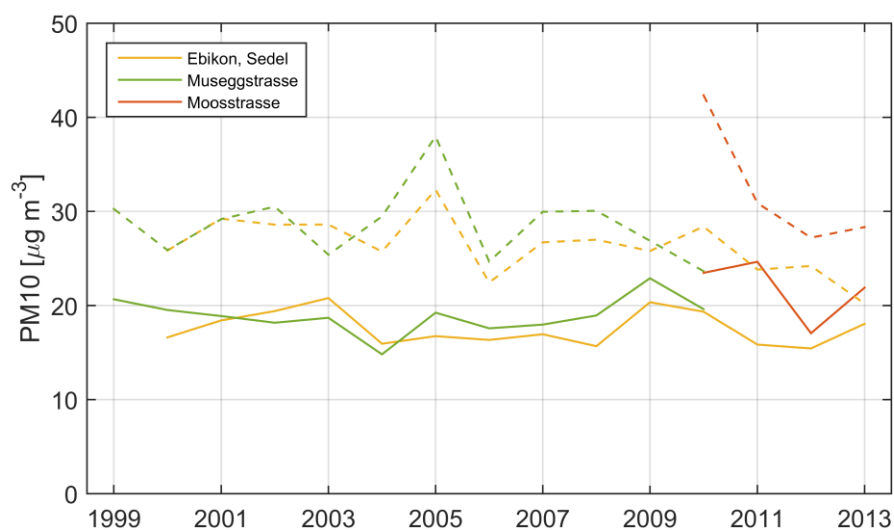


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der PM₁₀-Konzentration, dargestellt als Sommer- (ausgezogen) und Wintermittelwert (gestrichelt) an zwei Stadt-Stationen (Moosstrasse und Museggstrasse) sowie Ebikon, Sedel seit 1999

Beim NO₂ zeigen die Sommermittelwerte eine statistisch signifikante Abnahme bei der Messstation Ebikon, Sedel, während für die Wintermittelwerte kein statistisch signifikanter Trend sichtbar ist. An der am wenigsten verkehrsbelasteten Messstation Ebikon, Sedel ist der abnehmende Trend im Sommer am stärksten ausgeprägt.

¹⁶ Werte in eckigen Klammern stehen für das 95%-Konfidenzintervall.

Dieser Umstand kann wie folgt erklärt werden: Im Sommer dominiert auch strassennah das sekundäre NO_2 , das sich etwa wie NO_x verhält, also einen abnehmenden Trend zeigt. Im Winter hat das primäre NO_2 strassennah wegen des limitierten Ozonangebots einen viel grösseren Anteil am Gesamt- NO_2 . Da die primären NO_2 -Emissionen etwa seit 2000 ansteigen, kann dies zu einer Stagnation oder sogar einem positiven Trend führen. Sinkende NO -Emissionen bewirken im Winter zudem kaum tiefere sekundäre NO_2 -Immissionen, solange Ozon limitierend wirkt.

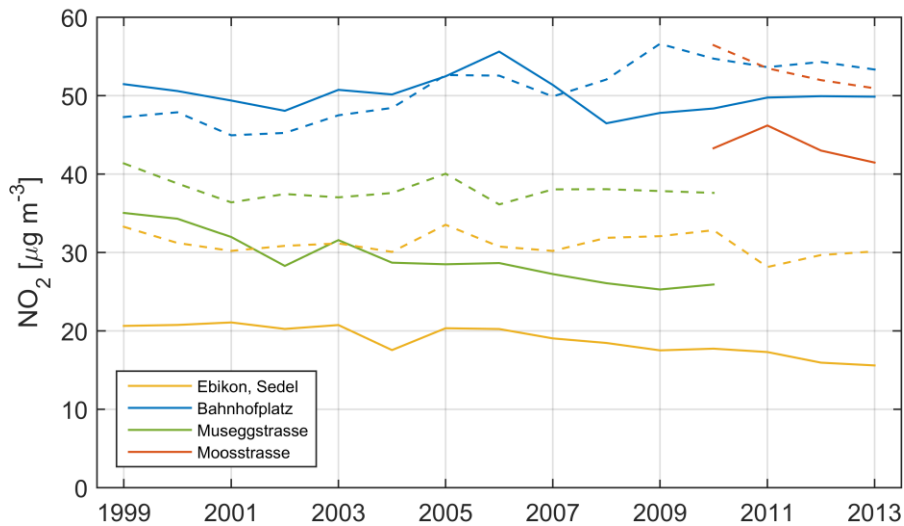


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der NO_2 -Konzentration, dargestellt als Sommer- (ausgezogen) und Wintermittelwert (gestrichelt) an drei Stadt-Stationen (Bahnhofplatz [Passivsammler], Moosstrasse und Museggstrasse) sowie Ebikon, Sedel seit 1999

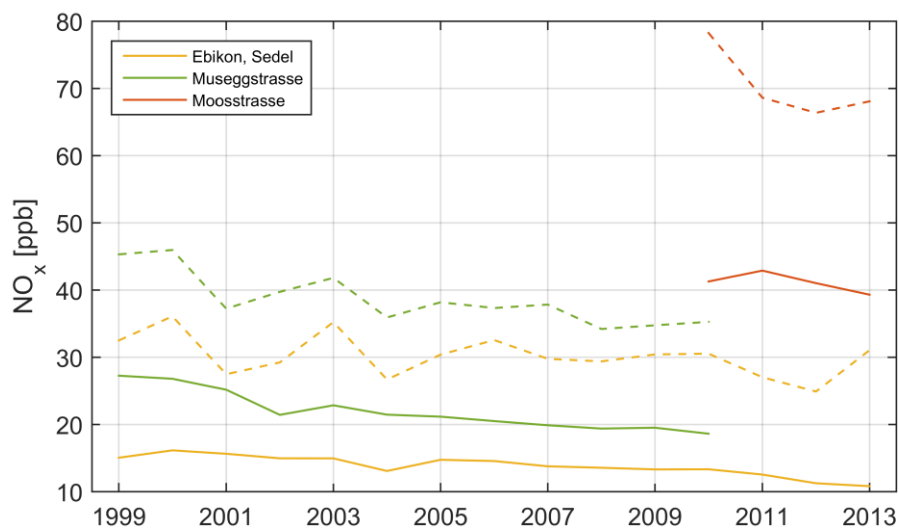


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der NO_x -Konzentration, dargestellt als Sommer- (ausgezogen) und Wintermittelwert (gestrichelt) an zwei Stadt-Stationen (Moosstrasse und Museggstrasse) sowie Ebikon, Sedel seit 1999

5.3 Tagesmittel-Grenzwertüberschreitungen

Abbildung 22 zeigt die Anzahl Tage mit einer LRV-Grenzwertüberschreitung von PM10 (PM10-24-h-Mittelwert $> 50 \mu\text{g m}^{-3}$). Ein Kreuz bedeutet, dass keine der Messempfehlung des BAFU entsprechenden Messdaten vorliegen. Gemäss LRV dürfte der PM10-24-h-Grenzwert einmal pro Jahr überschritten werden. Alle drei Stationen zeigen deutliche Überschreitungen des LRV-Grenzwertes. Die Station Moosstrasse zeigt als Maximum 48 Überschreitungen im Jahr 2011.

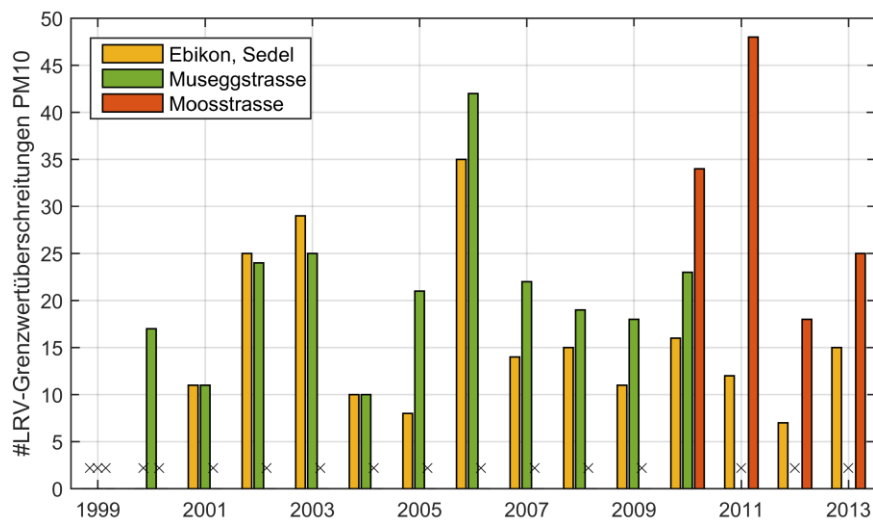


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung der LRV-Grenzwertüberschreitungen (PM10-24-h-Mittelwert $> 50 \mu\text{g m}^{-3}$) an den Messstationen Ebikon, Sedel, Museggstrasse und Moosstrasse. Ein Kreuz bedeutet, dass keine gültigen Messwerte vorhanden sind.

Abbildung 23 zeigt dieselbe Darstellung, allerdings für die LRV-Grenzwertüberschreitungen des NO_2 -24-h-Mittelwerts. Hier sind die Überschreitungen deutlich geringer, im Jahr 2013 wies nur die Station Moosstrasse 4 Überschreitungen des NO_2 -24-h-Mittelwertes auf. Allerdings ist dies sehr standortspezifisch: In der kurzen Messperiode am Standort Bahnhofplatz AP wurden in den zwei Monaten November und Dezember 2013 alleine 45 Überschreitungen des NO_2 -24-h-Mittelwertes verzeichnet.

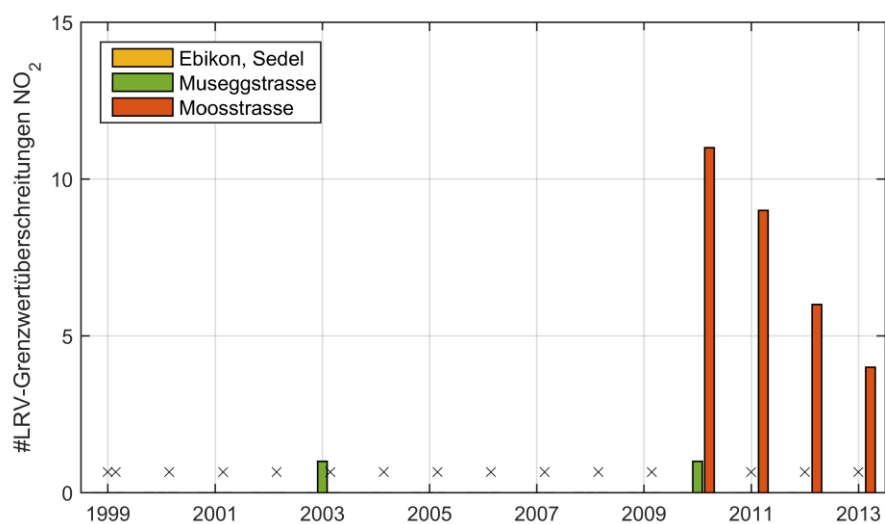


Abbildung 23: Zeitliche Entwicklung der LRV-Grenzwertüberschreitungen (NO_2 -24-h-Mittelwert $> 80 \mu\text{g m}^{-3}$) an den Messstationen Ebikon, Sedel, Museggstrasse und Moosstrasse. Ein Kreuz bedeutet, dass keine gültigen Messwerte vorhanden sind.

6 Zeitliche Entwicklung des NO_2/NO_x -Verhältnisses

Das NO_2/NO_x -Verhältnis ist charakteristisch für einen Standort. An verkehrsexponierten Standorten liegt das Verhältnis im Jahresmittel zwischen 30 % und 60 %. Sehr ländliche Stationen (z. B. Rigi Seebodenalp) weisen ein NO_2/NO_x -Verhältnis von 90 % auf. Am Standort Moosstrasse beträgt das NO_2/NO_x -Verhältnis 45 %, am Standort Ebikon, Sedel knapp über 60 %.

Wird das NO_2/NO_x -Verhältnis seit 1991 betrachtet (Abbildung 24), so zeigt sich eine Zunahme des Verhältnisses seit 1991. Dies ist auch bei denjenigen Stationen ersichtlich, welche Messungen seit 2000 aufweisen. Die Veränderung des NO_2/NO_x -Verhältnisses wurde auch bei anderen Auswertungen beobachtet und kann auf die Emissionen der PW zurückgeführt werden. Im Zeitraum von 2000 bis 2013 hat der NO_2 -Anteil in den NO_x -Emissionen der PW innerorts von 6 % auf 17 % zugenommen (Mittel Schweiz).¹⁷ Der Grund dafür liegt in der Zunahme des Dieselmotoranteils im gesamten Fahrzeugpark und dem höheren Anteil direkt emittierten NO_2 bei Dieselfahrzeugen.

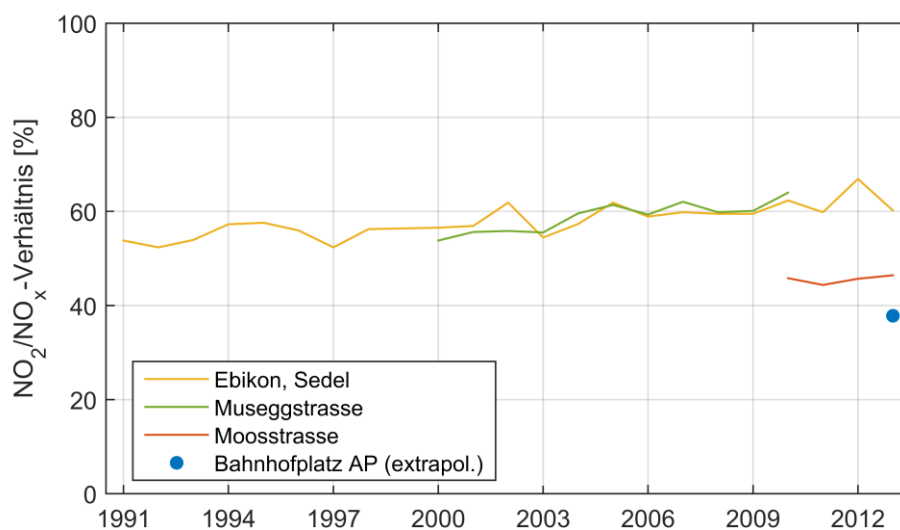


Abbildung 24: Verlauf Verhältnis NO_2/NO_x an den Messstationen Ebikon, Sedel, Museggstrasse, Moosstrasse und Verhältnis NO_2/NO_x der extrapolierten Jahresmittelwerten 2013 am Bahnhofplatz (blauer Punkt)

¹⁷ Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990 – 2035, Aktualisierung 2010, BAFU, 2010

7 Gesundheitliche Auswirkungen

Schon im Werkstattbericht 2003-2 über die Resultate der ersten Kurzzeitmessung am Bahnhofplatz Luzern der Jahre 2001 und 2002 wurden in einem Kapitel die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung erörtert.¹⁸ Hier soll wiederum eine Einschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen der Luftbelastung und deren Kostenfolgen erarbeitet werden.

7.1 Allgemein

Das europäische Regionalbüro der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat auch in den letzten Jahren wieder mehrere Berichte über Gesundheitseffekte der Luftbelastung veröffentlicht. In einer Übersichtsstudie REVIHAAP („Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution“)¹⁹ der WHO wurden vor kurzem die gesundheitlichen Folgeschäden der Schadstoffe NO₂, O₃ und Feinstaub zusammengetragen. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie sind:

- Es besteht ein Zusammenhang zwischen Mortalität und der PM2.5-Belastung auch deutlich unter dem heute von der WHO empfohlenen Jahresmittelgrenzwert von 10 µg m⁻³. Ergänzende Bemerkung zum in-LUFT-Messnetz: PM2.5 wird zurzeit im in-LUFT-Messnetz nicht erhoben. Aufgrund von Vergleichen zwischen PM2.5 und PM10 muss davon ausgegangen werden, dass in der Zentralschweiz und insbesondere auch in der Stadt Luzern der von der WHO empfohlene Jahresmittelwert massiv überschritten wird.²⁰
- Neue Studien zu NO₂ zeigen eindeutige Beweise für gesundheitliche Langzeitfolgen.

Das Internationale Krebsforschungszentrum (IARC, eine Einrichtung der WHO) kommt zum Schluss, dass ausreichend belegt ist, dass zahlreiche chemische Schadstoffe in der Aussenluft Lungenkrebs auslösen können (Gruppe 1 – karzinogen). Weiter wurde Feinstaub, als Hauptkomponente der Luftverschmutzung, ebenfalls als karzinogen, Gruppe 1, eingestuft.²¹ Dieser Schritt erfolgte ein gutes Jahr nachdem schon Dieseleruss als erwiesenermassen krebserregend taxiert wurde.²²

¹⁸ PM10 Messungen am Bahnhofplatz Luzern, 2001 / 2002, Werkstattbericht 2003-2, Stadt Luzern, 2003

¹⁹ Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project, Technical Report, WHO, 2013

²⁰ Feinstaub PM2.5, Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen, Vorabzug BAFU, Stand 31.10.2014

²¹ IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer death, Press release N° 221, International Agency of Research on Cancer, 17.10.2013

²² IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic, WHO, 2012,
http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf

7.2 Kurzzeiteffekte

In einer Studie, welche im Auftrag von 21 kantonalen Umweltschutzämtern durchgeführt wurde, konnte ein Zusammenhang der gesamten medizinischen Notfälle und der Herz-Kreislaufnotfälle mit der PM10- und NO₂-Konzentration aufgezeigt werden.²³ Pro PM10-Anstieg um 10 µg m⁻³ im Zweita-gesmittel stiegen diese Notfälle um 0.17 % (alle medizinischen Notfälle) beziehungsweise 0.43 % (Herz-Kreislaufnotfälle) an²⁴. Vergleichbare Zusammenhänge wurden für tägliche Todesfälle gefun-den wie auch für den Indikator NO₂ statt PM10.

7.3 Langzeiteffekte

In einer umfassenden Literaturrecherche von Hoek et al.²⁵ wurde der Langzeiteffekt von verschiede-nen Luftschadstoffen auf die Mortalität und die Erkrankungshäufigkeit aufgrund von Herzkreislauf- und Atemwegsproblemen untersucht. In dieser Studie wurden folgende Zusammenhänge aufgezeigt:

- Anstieg der Gesamtmortalität um
 - 6 % pro 10 µg m⁻³ PM2.5
 - 6 % pro 1 µg m⁻³ Elemental Carbon (EC)
 - 5 % pro 10 µg m⁻³ NO₂
- Anstieg der Herzkreislaufmortalität um
 - 11 % pro 10 µg m⁻³ PM2.5

Die zitierten prozentualen Anstiege der Mortalität stammen von einer Vielzahl epidemiologischer Studien über Langzeitexposition gegenüber diesen Luftschadstoffen. Bezüglich der Schadstoffkon-zentration dieser Grössen besteht ein enger Zusammenhang, folglich dürfen die prozentualen An-stiege nicht einfach addiert werden.

In internationalen Studien wird als Feinstaubreferenzgrösse oft PM2.5 verwendet. Messungen im NABEL-Messnetz zeigen, dass das Verhältnis von PM2.5 zu PM10 etwa 0.78 beträgt (durchschnittli-ches Verhältnis der Jahresmittel 2013 aller NABEL-Standorte).²⁶ Es gilt zu beachten, dass dieses Ver-hältnis abhängig von der Standortcharakteristik und der Jahreszeit ist. Folglich entspricht eine Ände-rung von PM2.5 um 10 µg m⁻³, vorbehaltlich gewisser Annahmen, etwa einer Änderung von PM10 um 13 µg m⁻³. Obwohl Mortalitätszahlen mit Unsicherheiten behaftet sind, können damit Abschät-zungen für die Stadt Luzern gemacht werden. Die Sterbeziffer im Kanton Luzern beträgt gemäss Bun-desamt für Statistik aktuell 7.4 pro 1000 Einwohner.²⁷ Bei 80'000 Einwohnern ist somit pro Jahr mit

²³ Study of the effect of particulate matter (PM10) on emergency hospital admissions and mortality for the period of 2001 to 2010 and of nitrogen dioxide on mortality for the period of 1995 to 2010, Swiss TPH und AWEL, 2013

²⁴ Kurzzeiteffekte von PM10 auf die täglichen Zahlen der notfallmässigen Spitaleinweisungen und der Todesfäl-le in 13 Regionen der Schweiz, Griez L. u.a., 2013

²⁵ Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review, Hoek et al., 2013, Environ-mental Health, 12:43

²⁶ Zusätzliche Partikelmessungen im NABEL, Bericht über die Messungen 2013, EMPA, 2014

²⁷ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand/02.html>
[Stand: 18.11.2014]

knapp 600 Todesfällen zur rechnen. Könnte man beispielsweise die NO₂-Immissionsbelastung auf dem ganzen Stadtgebiet um 10 µg m⁻³ mindern, könnte man damit pro Jahr etwa 30 frühzeitige Todesfälle verhindern.

Interessant ist es nun diese Zahlen mit anderen Statistiken zu vergleichen. Beispielsweise sterben gemäss Bundesamt für Gesundheit jährlich 200 bis 300 Personen (inklusive Raucher) an radonbedingtem Lungenkrebs.²⁸ Linear auf die Stadt Luzern heruntergebrochen sind dies 2 bis 3 Personen pro Jahr, folglich ungefähr ein Faktor 10 weniger als aufgrund der Aussenluftbelastung.

Hiermit stellt sich die Frage, ob sich die Bevölkerung und die Politik der Gefährdung durch Luftschadstoffe und des Potentials bezüglich Volksgesundheit bewusst ist.

7.4 Kostenfolgen

Für den Kanton Zürich, die Stadt Zürich und die Stadt Winterthur liessen die Zürcher Behörden einen Bericht über die Kosten der Luftverschmutzung erstellen.²⁹ Die Stadt Luzern (80'500 Einwohner) kann von der Grösse her am besten mit Winterthur (105'800 Einwohner) verglichen werden. Für die Stadt Winterthur wurden für das Jahr 2010 Gesamtkosten von 63 Mio. CHF ermittelt (595 CHF pro Person). Wobei die Gesundheitskosten (79 %) vor den Gebäudekosten (20 %) am meisten zu den durch Luftschadstoffe bedingten Kosten beitrugen. Waldschadenskosten machen auf städtischem Gebiet etwa 1 % der Kostenfolgen aus.

Mit diesen Zahlen können auch Abschätzungen für die Stadt Luzern proportional zum Bevölkerungsverhältnis Luzern / Winterthur gemacht werden. Für die Stadt Luzern können die jährlich durch Luftverschmutzung verursachten Kosten wie folgt grob abgeschätzt werden:

- Gesamtkosten: 48 Mio. CHF
- Gesundheitskosten: 38 Mio. CHF
- Gebäudekosten: 9.6 Mio. CHF

In einer Schweizer Studie³⁰ wurde ermittelt, dass eine Reduktion des PM_{2.5}-Jahresmittelwertes auf 10 µg m⁻³ schweizweit eine Reduktion der Gesundheitskosten von jährlich 2.7 Mia. CHF zur Folge hätte. Proportional auf die Bevölkerung der Stadt Luzern heruntergebrochen sind dies etwa 27 Mio. CHF, welche jährlich eingespart werden könnten. Diese hier ermittelten 27 Mio. CHF (340 CHF pro Person) stellen ein unteres Limit dar, da in städtischen Gebieten mit einer höheren Grundbelastung eine Reduktion auf 10 µg m⁻³ überproportional positive Auswirkungen hätte.

Obwohl die ausgewiesenen Kosten mit Unsicherheiten behaftet sind, geben sie Hinweise, in welchen Grössenordnungen die Auswirkungen der Luftbelastung etwa liegen, und die Zahlen erlauben es die

²⁸ <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/index.html?lang=de> [Stand: 18.11.2014]

²⁹ Die Kosten der Luftverschmutzung für den Kanton Zürich, die Stadt Zürich und die Stadt Winterthur, Schlussbericht, econcept AG, 2013

³⁰ Abschätzung der Gesundheitskosten für verschiedene PM_{2.5}-Konzentrationszenarien, Rösli, M., 2014

möglichen gesundheitlichen Kostenersparnisse in Bezug zu Kosten für Massnahmen im Bereich der Lufthygiene zu setzen.

Die Kostenfolgen können nicht mit Abschätzungen von früheren Jahren im Sinne einer Trendanalyse verwendet werden. Es kann aber zusammenfassend ausgesagt werden:

- Die Luftbelastung hat sich im Vergleich zu früheren Jahren leicht verbessert.
- Aufgrund des Bevölkerungswachstums ist die Anzahl betroffener exponierter Personen angestiegen.
- Die Gesundheitskosten sind pro Krankheitsfall markant angestiegen.

7.5 Bezug zum Messstandort Luzern, Bahnhofplatz

Es stellt sich nun natürlich auch die Frage, wie weit Messungen an einem Extremstandort wie am Bahnhofplatz gesundheitsrelevant für weitere Teile der städtischen Bevölkerung sind.

Die gemessene PM₁₀-Konzentration ist repräsentativ für städtische Standorte entlang von Hauptverkehrsachsen. Dies kann damit begründet werden, dass der Feinstaub einen relativ kleinen Gradienten von der Quelle aufweist und am Standort Moosstrasse werden praktisch identische Feinstaubkonzentrationen gemessen wie am Bahnhofplatz.

Die NO₂-Konzentration weist hingegen einen viel grösseren Gradienten von der Quelle auf als der Feinstaub. Während die extrapolierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel auf dem Busperron 83 µg m⁻³ beträgt, liegt sie am anderen Ende des Bahnhofplatzes am Passivsammler-Standort Luzern Bahnhofplatz noch bei 52 µg m⁻³. Beide Werte liegen indes massiv über dem entsprechenden Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung von 30 µg m⁻³. Zwar halten sich Personen in der Regel nicht über einen längeren Zeitraum auf dem Bahnhofplatz auf, allerdings sind es sehr viele Personen, die der dortigen sehr hohen Luftschadstoff-Belastung ausgesetzt sind.

Der Bahnhofplatz ist auch im städtischen Kontext ein überdurchschnittlich stark belasteter Standort aber kein Einzelfall. Auch die Messstation Moosstrasse weist eine ähnliche Belastung aus. Generell ist die Luftbelastung an verkehrsbelasteten Standorten deutlich zu hoch. Diese unbefriedigende Situation zeigt, dass bezüglich Luftschadstoffbelastung nach wie vor ein sehr grosser Handlungsbedarf besteht.

8 Ausblick

8.1 Entwicklung Emissionen

Die hier dokumentierten Messdaten zeigen, dass an innerstädtischen verkehrsexponierten Standorten insbesondere die Stickoxid-Belastung um Faktoren über dem gesetzlich erlaubten Rahmen liegt. Es stellt sich nun die Frage, ob zukünftige Emissionsreduktionen aufgrund verbesserter Fahrzeugtechnologie reichen oder ob weitere tiefergreifende Massnahmen notwendig sind, um das Problem zu lösen. Diesen Fragen wird in diesem Kapitel nachgegangen.

Abbildung 25 zeigt die zeitliche Entwicklung der NO₂-Emissionen des Strassenverkehrs innerorts (pinke Kurve).³¹ Gemäss dieser Studie, basierend auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren 3.1 (HBEFA3.1), sollten innerorts die NO₂-Emissionen seit 2010 rückläufig sein und bis 2025 weniger als die Hälfte der maximalen Emissionen im 2010 betragen. Die NO_x-Emissionen sind gemäss HBEFA3.1 bereits seit 1990 rückläufig. Die aktuellen Messungen zeigen aber, dass der Rückgang der Emissionen wohl zu optimistisch prognostiziert wurde.

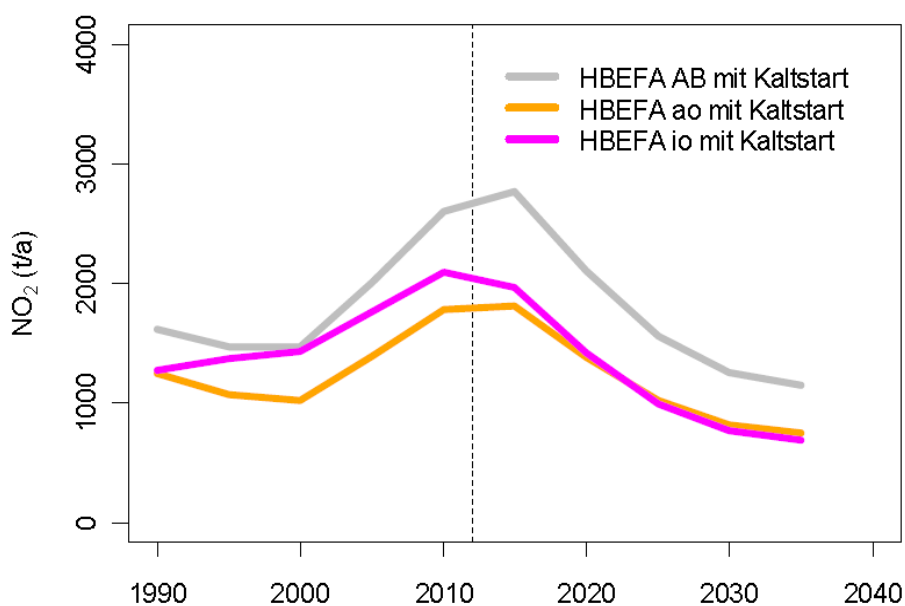


Abbildung 25: Zeitliche Entwicklung der NO₂-Emissionen des Strassenverkehrs, berechnet mittels HBEFA 3.1 (AB = Auto-bahn, ao = ausserorts, io = innerorts)³¹

Für Linienbusse prognostiziert das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA3.2) bis 2025 unter Innerortsbedingungen sogar einen Rückgang der NO₂-Emissionen um fast einen Faktor 3 im Vergleich zum Referenzjahr 2013.³²

³¹ Zeitliche Entwicklung der NO₂-Emissionen an verkehrsbelasteten Standorten, Hüglin C., EMPA, 2012

Welchen Einfluss könnten diese prognostizierten Emissionsreduktionen auf die Immissionsbelastung haben? Diese Fragestellung wurde beispielsweise in einer Studie im Rahmen des MfM-U-Projekts³³ untersucht. Dazu wurden verschiedene Szenarienberechnungen für das Jahr 2020 durchgeführt.³⁴ Darin wurde für verschiedene Standorte entlang der Transitachsen die Immissionsreduktion bis ins Jahr 2020 berechnet. Für das Referenzszenario (HB) wurde in der Studie eine NO₂-Immissionsreduktion aufgrund der technischen Entwicklung der Fahrzeuge zwischen 19 und 22.3 % berechnet. Da es verschiedene Hinweise gibt, dass die Emissionen für Euro6/VI-Fahrzeuge im HBEFA 3.1 zu optimistisch integriert sind, wurde als weiteres Szenario die Emissionsreduktion der Euro6/VI-Fahrzeuge mit halber Effizienz (hE6) berechnet. Für dieses Szenario käme die NO₂-Immissionsreduktion bis 2020 zwischen 8.4 und 12.3 % zu liegen. Obwohl diese Abschätzungen für Autobahnstandorte gemacht wurden, können sie mit gewissen Einschränkungen (andere Verkehrszusammensetzung, schlechtere Ausbreitungsbedingungen in der Stadt, stärkerer Einfluss von anderen Quellen) auch auf städtische Gebiete übertragen werden.

Es ist offensichtlich, dass Immissionsreduktionen in dieser Grössenordnung nicht reichen werden, um die sehr hohe Belastung am Bahnhofplatz und an anderen stark verkehrsbelasteten Standorten in der Stadt Luzern im Jahresmittel und im Tagesmittel unter die LRV-Immissionsgrenzwerte zu senken.

8.2 Massnahmen in der Stadt Luzern

Die Stadt Luzern ist sich der Luftreinhalte-Problematik bewusst. So hat der Stadtrat im Herbst 2008 einen ersten „Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz“ beschlossen.³⁵ Er umfasst total 24 verschiedene Massnahmen in unterschiedlichen Handlungsfeldern und ergänzt Massnahmen auf nationaler und kantonaler Ebene. Der Aktionsplan 2008 ist weitgehend umgesetzt.

Im April 2013 hat der Stadtrat eine Projektgruppe unter Leitung der Dienstabteilung Umweltschutz mit der Erarbeitung eines zweiten Aktionsplans Luft, Energie, Klima beauftragt. Der Aktionsplan soll 2015 vom Stadtrat verabschiedet und bis 2020 umgesetzt werden. Zusammen mit den Massnahmen des Bundes und des Kantons soll er die Luftbelastung in der Stadt Luzern senken.

³² Immissionsbelastung Altdorf Zentrum, Auswertung der Verkehrs- und Immissionsmessdaten im Zentrum von Altdorf im Jahr 2013, inNET Monitoring AG, 2014

³³ www.bafu.admin.ch/mfm-u

³⁴ Szenarien 2020 für die MfMU-Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen; Immissionen und Emissionen an Luftschadstoffen, Thudium J., Oekoscience AG

³⁵ Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz, Stadt Luzern, 2008, http://www.stadt Luzern.ch/dl.php/de/0czuw-ogejag/aplk_grundlagenbericht.pdf

9 Anhang

9.1 Abschätzung von Jahresmittelwerten am Bahnhofplatz

Die Messung am Luzerner Bahnhofplatz wurde vom 01.11.2013 bis 20.02.2014 durchgeführt. Diese Zeitspanne reicht nicht aus, um ein gültiges Jahresmittel zu berechnen. Um einen Vergleich mit den übrigen Stationen durchführen zu können und die Belastung in Bezug zu den LRV-Grenzwerten zu setzen, ist es interessant eine Abschätzung von Jahresmittelwerten durchzuführen (für PM₁₀, NO_x und NO₂). Hierfür wurden die Tagesmittelwerte der Messungen am Bahnhofplatz mit der nahegelegenen Station Moosstrasse und der etwas weiter entfernten Station Ebikon, Sedel korreliert. Die Korrelationen sind in Abbildung 26 bis Abbildung 28 zu finden.

Die Station Moosstrasse zeigt immer die deutlich bessere Korrelation als die Station Ebikon, Sedel. Dies liegt an den unterschiedlichen Standortcharakteristiken. Die Messstation Ebikon, Sedel liegt im städtischen Umfeld, während die Messstation Moosstrasse ebenfalls stark verkehrsexponiert ist. Für die Abschätzung der Jahresmittelwerte wurden denn auch die Daten der Station Moosstrasse verwendet. Die extrapolierten Jahresmittelwerte für den Standort Bahnhofplatz AP sind aus den extrapolierten Daten von Januar bis Oktober 2013 und den gemessenen Daten von November und Dezember 2013 berechnet.

Die PM₁₀-Tagesmittel zeigen eine sehr gute lineare Korrelation zwischen den Stadt-Stationen Bahnhofplatz AP und Moosstrasse, R² liegt bei 0.89 (Abbildung 26).

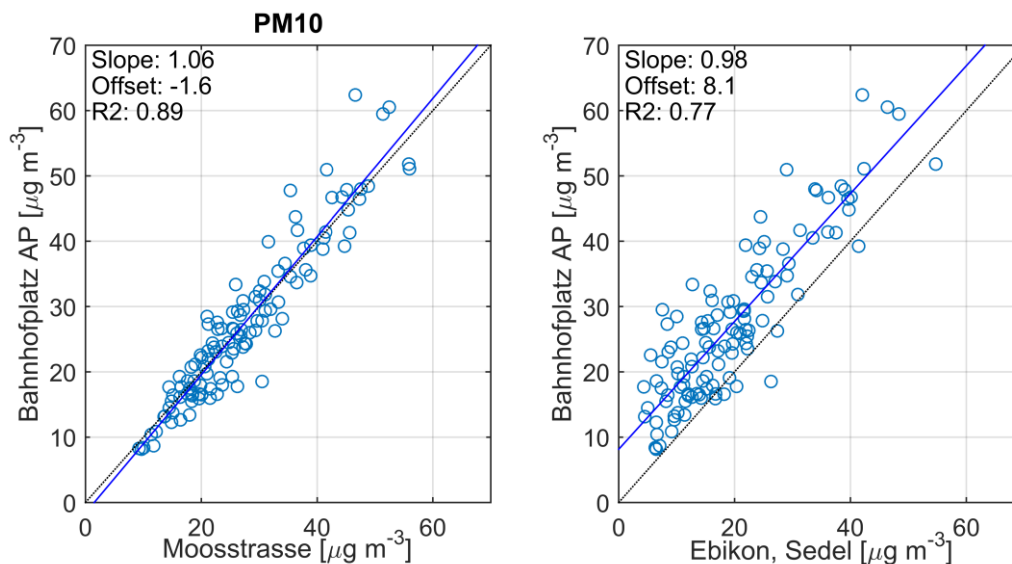


Abbildung 26: Korrelation der Tagesmittelwerte von PM₁₀ der Stationen Bahnhofplatz AP und Moosstrasse resp. Ebikon, Sedel für alle Tage zwischen 01.11.2013 und 20.02.2014

Die Korrelation bei NO_2 und NO_x ist nicht eindeutig linear (Abbildung 27 und Abbildung 28). Die Station Bahnhofplatz AP weist markant höhere Stickoxid-Konzentrationen auf als die Station Moosstrasse. Bei der Abschätzung der Jahresmittelwerte wurde beim NO_2 und NO_x eine polynomische Funktion 3. Grades verwendet, um der besseren Korrelation zwischen den beiden Standorten mit dieser Regression Rechnung zu tragen.

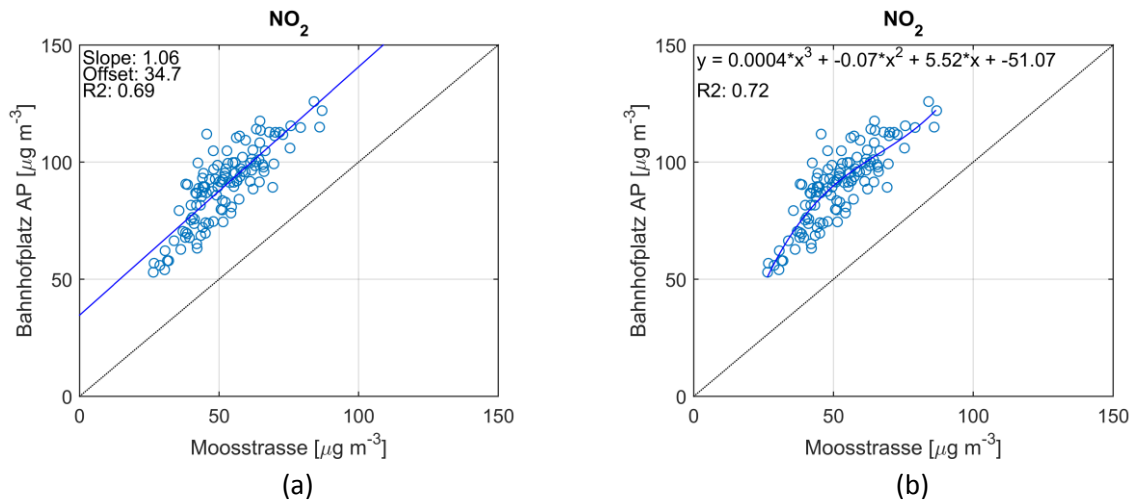


Abbildung 27: Korrelation der Tagesmittelwerte von NO_2 der Stationen Bahnhofplatz AP und Moosstrasse für alle Tage zwischen 01.11.2013 und 20.02.2014 mit (a) linearer Korrelation und (b) polynomischer Funktion 3. Grades

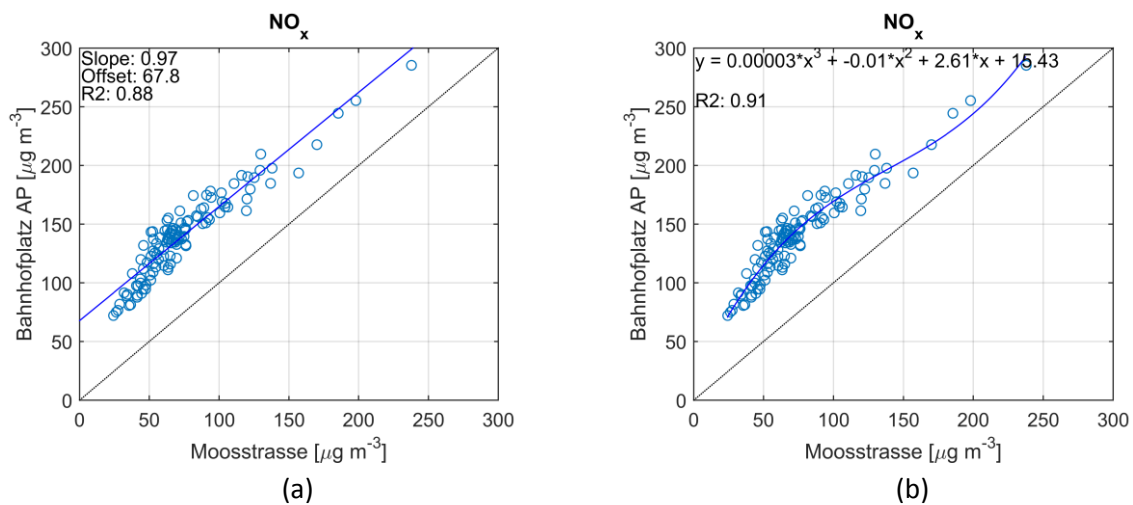


Abbildung 28: Korrelation der Tagesmittelwerte von NO_x der Stationen Bahnhofplatz AP und Moosstrasse für alle Tage zwischen 01.11.2013 und 20.02.2014 mit (a) linearer Korrelation und (b) polynomischer Funktion 3. Grades