



St. Gallen Blumenbergplatz

Immissionsmessung, Schlussbericht 2014

Abkürzungsverzeichnis:

AFU	Amt für Umwelt und Energie
CO	Kohlenstoffmonoxid
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EC	Elementarer Kohlenstoff
EBC	Equivalent Black Carbon, Reflexionsmesswerte kalibriert auf EC TOT, Eusaar2
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
OC	Organischer Kohlenstoff
O ₃	Ozon
OPFB	Messstation Opfikon Balsberg
PM ₁₀	Feinstaub
PT100	Platin Widerstandstemperaturfühler
SGB	Messstation SG Blumenbergplatz
SGR	Messstation SG Rorschacher Strasse
STGS	Messstation SG Stuelegg
TEOM	Tapered element oscillating microbalance (Messgerät Feinstaub)
ZSIM	Messstation Zürich Schimmelstrasse

Impressum

Herausgeber: OSTLUFT – Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein, Juni 2014

Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen

Projektteam: Susanne Schlatter, Aldo Dalle Case, Dominik Noger

Auswertungen und Kontaktperson:

Susanne Schlatter, AFU St. Gallen

Titelbild: Zentrum von St. Gallen mit Messstation (blauer Kreis)

Bezug und weitere Informationen:

Download pdf: www.ostluft.ch (eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Copyright: © OSTLUFT, Abdruck mit Quellenangabe erwünscht

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Ziele	4
3	Methodik	5
3.1	Standortbeschreibung	5
3.2	Standortklassierung	6
3.3	Messparameter SG Blumenbergplatz	7
4	Luftschadstoffe	8
4.1	Messung während 15 Monaten - Belastungsübersicht	8
4.2	Histogrammverteilung der gemessenen Stundenmittelwerte	11
4.3	Tagesmittelwerte über die gesamte Messzeit	13
4.4	Quartalsmittelwerte in der Stadt St.Gallen	16
4.5	Mittlerer Luftschadstoff-Tagesgang über die gesamte Messperiode	17
4.6	Mittelwert der gesamten Vergleichsmessung	18
4.7	Grenzwertüberschreitungen	20
5	SGR Berechnung aus SGB - "Modellierung"	21
6	Inversionsmessungen	23
6.1	Inversionserfassung	23
6.2	Inversionslagen in St.Gallen	24
6.3	Inversionshäufigkeit und -stärke	25
6.4	Mittlerer Tagesgang der Inversionen	27
6.5	Schadstoffverlauf im Winterhalbjahr - mit und ohne Inversionslage	28
7	Langjährige Messreihen	29
8	Anhang	31
8.1	DTV	31

1 Zusammenfassung

Langjährige NO₂-Passivsammler-Messreihen am Blumenbergplatz in St.Gallen zeigen, dass hier die Jahresmittelwerte rund 50 µg/m³ betragen. Der zentral gelegene Verkehrsknotenpunkt hat auf dem "Unteren Graben" ein tägliches Verkehrsaufkommen von knapp 25'000 Fahrzeugen, sowie zusätzlichen Verkehr in Richtung Rosenberg. Die Verkehrsführung erfolgt über eine Ampelsteuerung, die zu einer Stop-and-Go Situation führt. Der Blumenbergplatz ist einer der am stärksten belasteten Orte in der Stadt St.Gallen. Im Kontext des OSTLUFT Messkonzeptes 2012b, das ab 2014 umgesetzt wird, gilt der Blumenbergplatz als potenziell geeigneter Standort. Die Luftschadstoffkonzentrationen von SG Blumenbergplatz wurden mit den langjährig betriebenen Messungen an der SG Rorschacher Strasse sowie dem Hintergrundstandort in erhöhter Lage, der SG Stuelegg, verglichen. Zusätzlich erfolgte ein Vergleich mit zwei Strassenstandorten in Zürich. Zürich Schimmelstrasse ist SG Blumenbergplatz hinsichtlich Verkehrsbelastung, Verkehrsführung mit Ampelsteuerung sowie reale Geschwindigkeiten (≤ 50 km/h) sehr ähnlich. Die Messstation Opfikon Balsberg steht an der Flughafenautobahn, die signalisierte Geschwindigkeit beträgt 100 km/h. Somit unterscheidet sich diese Verkehrssituation deutlich von den beiden anderen innerstädtischen Strassenmessorten. Die Hintergrundbelastung der Stadt und Metropolregion Zürich ist jedoch sicher höher als in St.Gallen.

Bezugnehmend auf die Projektziele können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Konzentrationswerte der Leitschadstoffe sind, wie erwartet, hoch. Der Blumenbergplatz in St.Gallen kann, zumindest für diese Region, als "Hot Spot" bezeichnet werden.
- SG Blumenbergplatz eignet sich gut als Messort für das OSTLUFT Messkonzept 2012b. Die Messwerte widerspiegeln den gewünschten Standorttypus "Hochleistungsstrasse / Stadt / Zentrums-Lage".
- Vergleich von "SG Blumenbergplatz: Berechnete Messwerte aus SG Rorschacher Strasse" mit "SG Blumenbergplatz: effektive Messwerte": Gute Übereinstimmung der modellierten respektive gemessenen Messwerten. Dies bedeutet, dass, obwohl der Standort SG Rorschacher Strasse aufgegeben wird, die Messreihe (zumindest theoretisch; berechnet aus SG Blumenbergplatz) weitergeführt werden kann.
- Der Vergleich von SG Blumenbergplatz mit Stadt Zürich Schimmelstrasse und Flughafenautobahn Opfikon Balsberg unterstreicht die relevante Luftbelastung. Die Messwerte der beiden verkehrsnahen Standorte in der Metropolregion Zürich sind lediglich geringfügig höher als in SG Blumenbergplatz. Auch die typischen Tagesgänge zeigen ein sehr vergleichbares Bild.
- Das Inversions-Höhenprofil über der Stadt St.Gallen hat gezeigt, dass die Inversionshäufigkeit von Monat zu Monat beträchtlich schwankt. Mittlere und starke Inversionen bilden sich vornehmlich in den höheren Schichten - somit ist auch in den Wintermonaten in der Regel eine ausreichende Luftmenge für die Schadstoffverdünnung gegeben. Oder anders formuliert: In der Stadt St.Gallen führt das Ausbleiben von langanhaltenden bodennahen Inversionen dazu, dass sich die Schadstoffe im Winter in der Regel nicht zu "Extremwerten" anreichern.

2 Ziele

- Erfassung und Beurteilung der lokalen Konzentrationswerte der Leitschadstoffe.
- SG Blumenbergplatz als geeigneter Messort für das OSTLUFT Messkonzept 2012b.
- Vergleich mit SG Rorschacher Strasse und SG Stuelegg.
- Vergleich mit Stadt Zürich Schimmelstrasse und Flughafenautobahn Opfikon Balsberg.

3 Methodik

3.1 Standortbeschreibung

Der Messcontainer SG Blumenbergplatz befindet sich direkt am stark befahrenen Verkehrsknotenpunkt Unteren Graben / Grabenhalle auf 675 m.ü.M. Dieser Standort liegt nördlich der Altstadt und ist im Vergleich zur Messstation SG Rorschacher Strasse (660 müM) leicht erhöht.

Für das Höhenprofil über St.Gallen wird die Messstation SG Rorschacher Strasse als Fusspunkt definiert. Die Temperaturmessung erfolgt hier mit einem PT100 Messfühler. Die Temperaturmessung auf SG Stuelegg erfolgt mit einem belüfteten Temperatursensor (Meteolabor Thygan). An den restlichen 3 Messorten sind im Nordhang msr-Temperatursensoren, die in Passivsammlertöpfen befestigt sind, exponiert. Der Messort 1 liegt in der Nähe der Stadtsäge, Messort 2 bei einem schattigen Parkplatz in Höhe der Drei Weieren und Messort 3 beim Sendemast auf dem Freudenberg. Messort 1 ist im Herbst 2013 wegen zu starker Sonneneinstrahlung unter den blattlosen Bäumen leicht versetzt worden.

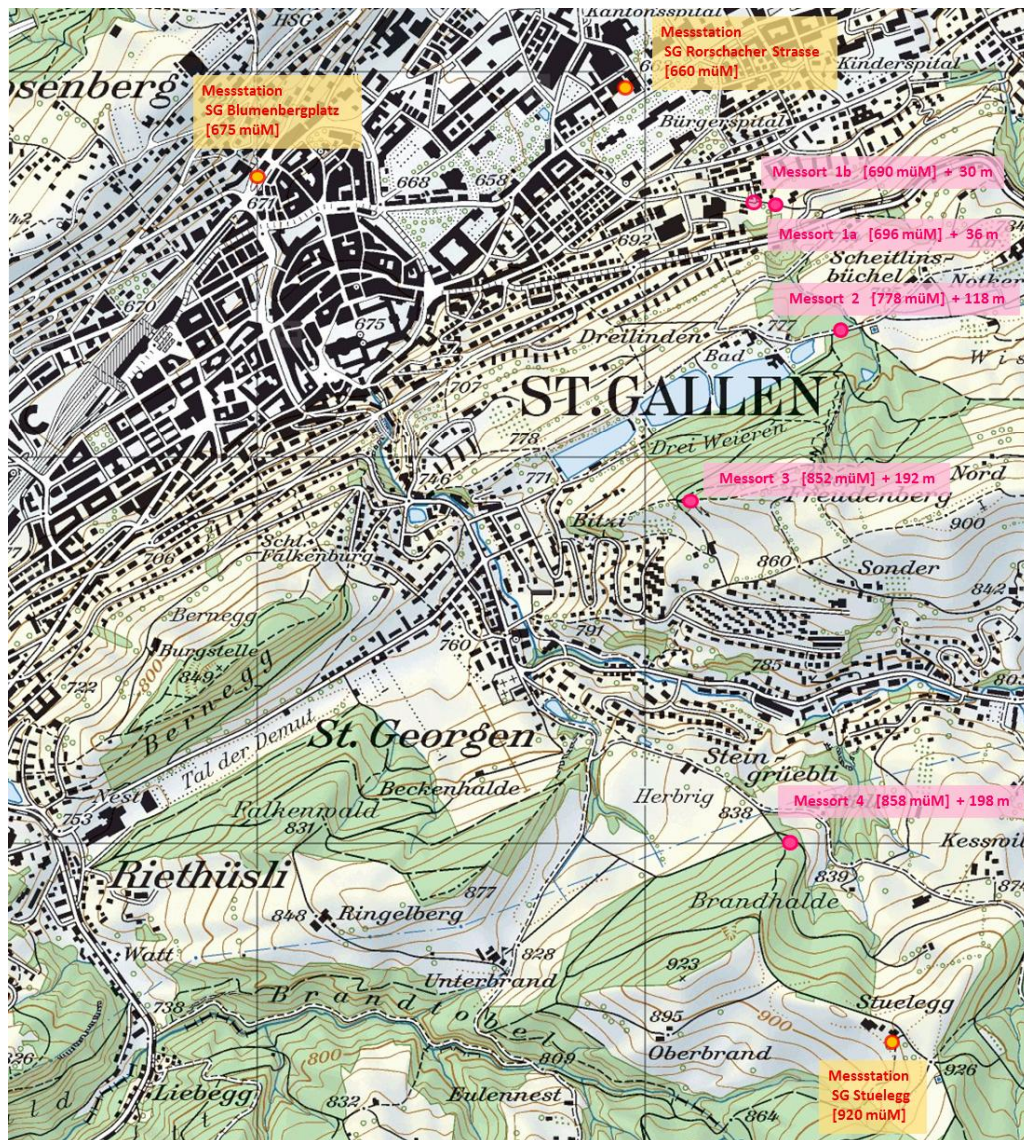


Abb. 1: Übersichtskarte Stadt St.Gallen mit den Messstandorten Blumenbergplatz, Rorschacher Strasse und Stuelegg (orange Punkte) sowie dem Höhenprofil am Freudenberg (rosaPunkte)

3.2 Standortklassierung

In der OSTLUFT Standortklassierung entsprechen die Messstationen folgenden Kategorien:

St.Gallen	Blumenbergplatz				
St.Gallen	Rorschacher Strasse				
St.Gallen	Stuelegg				
Zürich	Schimmelstrasse				
Opfikon	Balsberg				

Abb. 2: OSTLUFT Standortklassierungs-Pictogramme

Der Standort SG Blumenbergplatz ist geprägt vom stark befahrenen Verkehrsknotenpunkt Blumenbergplatz / Unteren Graben, bei dem es regelmässig zu Verkehrsüberlastungen kommt (nicht nur morgens und abends). Zusätzlich zum Stop and Go Verkehr an der Ampel kommt es zu längeren Rückstaus. Angrenzend an den Verkehrsknoten liegen die Wohnquartiere der nördlichen Altstadt und der Südfuss des Rosenbergs. SG Rorschacher Strasse steht auf einer von drei Seiten mit mehrstöckigen Häusern umgebenen Wiese und 35m zurückversetzt von Hauptstrasse.

ZH Schimmelstrasse liegt an einer Hauptachse mit Gegenverkehr und auf einem kleinen Platz. Opfikon Balsberg steht am Rand der Flughafenautobahn.



Abb. 3: OSTLUFT Strassenmessorte: Messstation (rot) und Gebäude (blaue Rechtecke) [Skalierung 20 m]

Die Messstation SG Stuelegg befindet sich auf einer grossen, zu beiden Seiten der Zufahrtsstrasse schräg abfallenden Wiese, unmittelbar neben einem Bauernhaus. Die Wiese ist weitgehend von Wald umgeben.



Abb. 4: OSTLUFT Hintergrundmessort in erhöhter Lage: Messstation (rot) und Gebäude (blaue Rechtecke) [Skalierung 100 m]

3.3 Messparameter SG Blumenbergplatz

		2012												2013											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
SG Blumenbergplatz:	Gas:	NO _x , O ₃ , CO																							
	Aerosol:	PM10 Teom, PM10 Hivol																							
	EC:	EC-Reflekt (alle 12 Tage)																							
	Anzahl Partikel:	ELPI																							
	Meteo:	T, Hr, p, StrGlo, Rain Dur, WVs, WD																							
Höhenprofil:	Meteo:	T																							

Abb. 5: Messparameter SG Blumenbergplatz

4 Luftschadstoffe

Die Daten werden mit der jahreszeitentsprechenden Sommer- respektive Winterzeit berechnet und sind somit miteinander vergleichbar.

4.1 Messung während 15 Monaten - Belastungsübersicht

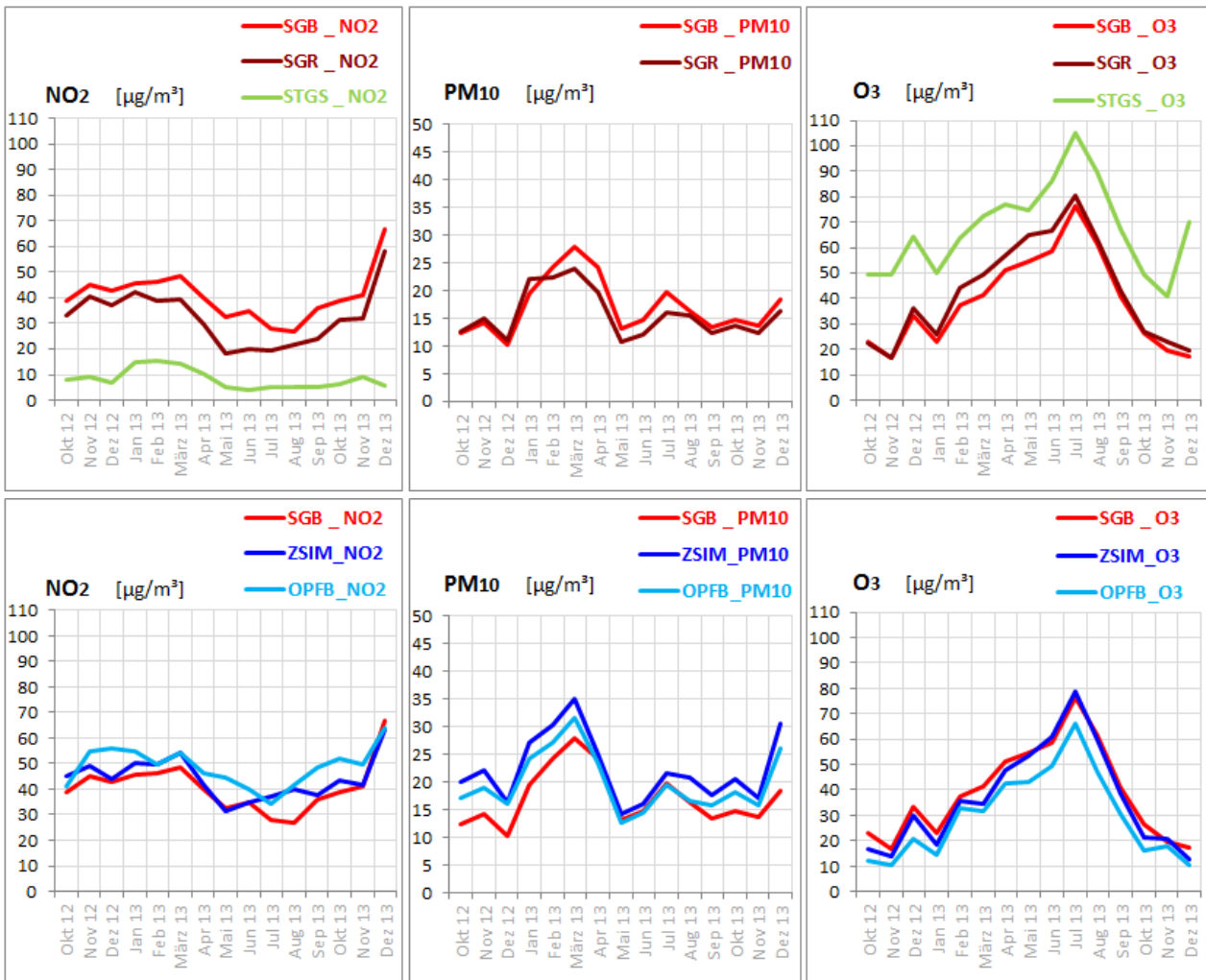


Abb. 6: Monatsmittelwerte für Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon von Okt 2012 bis Dez 2013

Die NO₂ und PM₁₀ Belastungen waren, wie erwartet, im ersten Winter vor allem im Februar und März erhöht. Im Dezember 2013 kam es zu einer starken Inversionslage. Bei den Standorten in Zürich zeigte sich bei den Messwerten eine deutliche PM₁₀ Erhöhung, der Anstieg in St.Gallen war geringer. Die Stickoxidwerte im Talgrund der Stadt St.Gallen zeigen, analog zu Zürich, deutlich erhöhte Monatsmittelwerte.

Die Messstation Stuelegg unterscheidet sich, wie es aufgrund der Standortklassierung sowie der Höhenlage zu erwarten ist, komplett zu den verkehrsbelasteten Messorten.

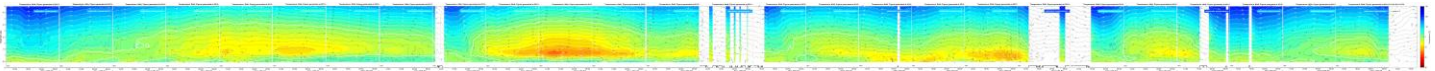


Abb. 7: Temperaturprofiler Schaffhausen vom 1. bis 31. Dezember 2013 (Quelle MeteoSchweiz) - fehlende Temperaturwerte = Regen

Während der am stärksten ausgeprägten Inversionslage Mitte Dezember (15. bis 17. Dezember 2013) sind die höchsten Temperaturwerte auf ca. 1200 müM gemessen worden. Somit lag die Messstation SG Stuelegg mit 920 müM leicht unter diesem Maximum, aber deutlich über der Inversion im Talgrund (660 müM).

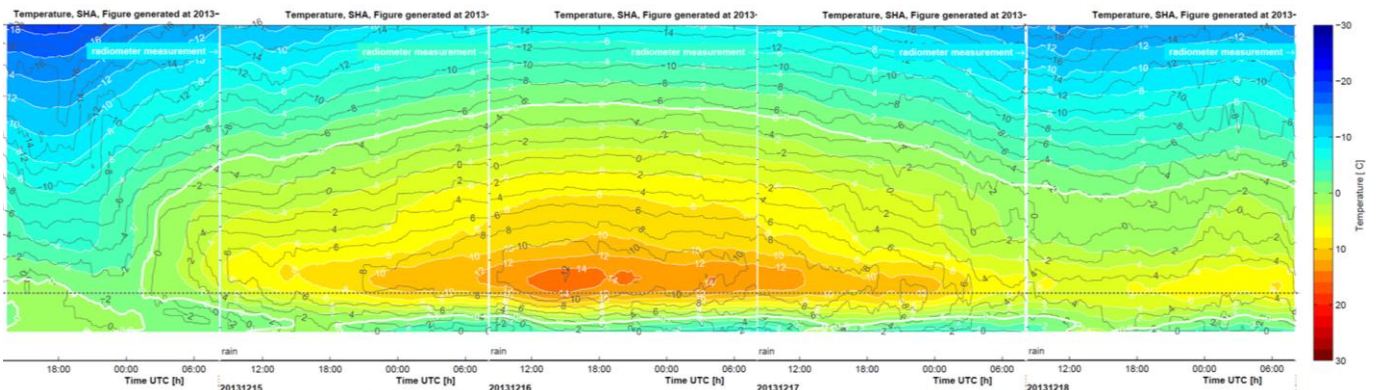


Abb. 8: Temperaturprofiler Schaffhausen vom 14. bis 18. Dezember 2013 (Quelle MeteoSchweiz) - 1000 müM markiert mit gestrichelter Linie

Das Temperaturmaxima auf der SG Stuelegg betrug 15.8 °C im Talgrund bei der Messstation SG Blumenbergplatz nur 8.2°C. Die Temperaturdifferenz beträgt 3.1°C pro 100 Höhenmeter.

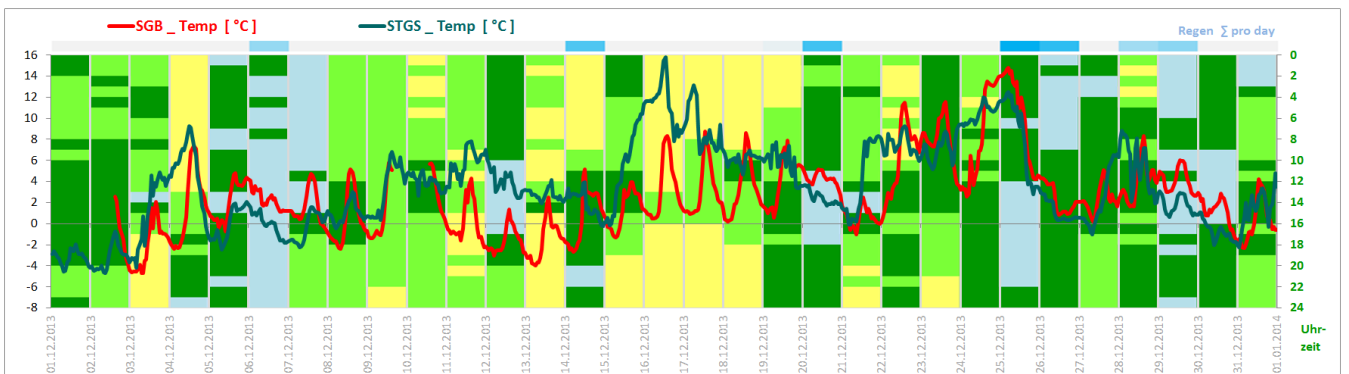


Abb. 9: Temperaturverlauf im Dezember 2013, Regendauer [Summe pro Tag] und Inversionsstärke je Stunde und Tag (rechte Zeitskala)

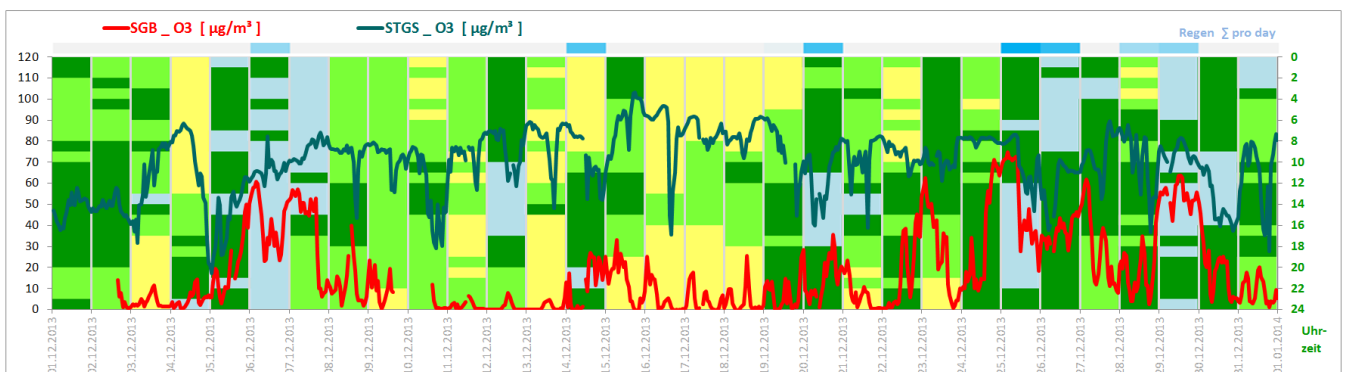


Abb. 10: Ozonmesswerte im Dezember 2013, Regendauer [Summe pro Tag] und Inversionsstärke je Stunde und Tag (rechte Zeitskala)

Die Luftschadstoffmesswerte in der Stadt St.Gallen reagierten deutlich auf die morgendlichen starken Bodeninversionen. Zusammen mit dem hohen Verkehrsaufkommen am SG Blumenbergplatz ergaben sich Stundenmittelwerte von Stickoxiden (NO_x) von über 700 ppb. Auch die maximalen Stickstoffdioxidwerte (NO₂) lagen über 300 µg/m³. Die abendlichen Messwerte am selben Messtag lagen deutlich tiefer. Die lang anhaltenden hohen Messwerte im Dezember 2013 haben einen deutlichen Einfluss auf den Wintermittelwert 2013 / 14.

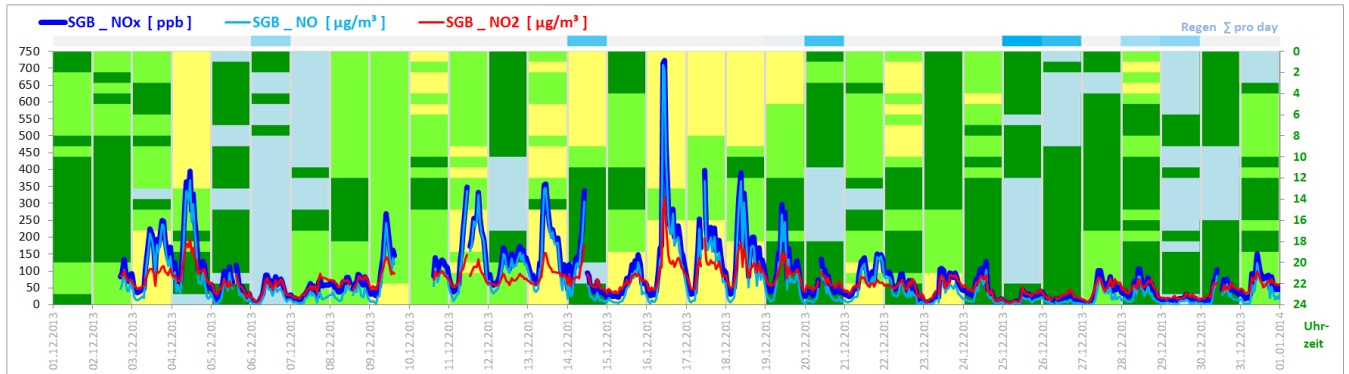


Abb. 11: NO_x Messwerte [h1], Regendauer [Summe pro Tag] und Inversionsstärke je Stunde und Tag (rechte Zeitskala)

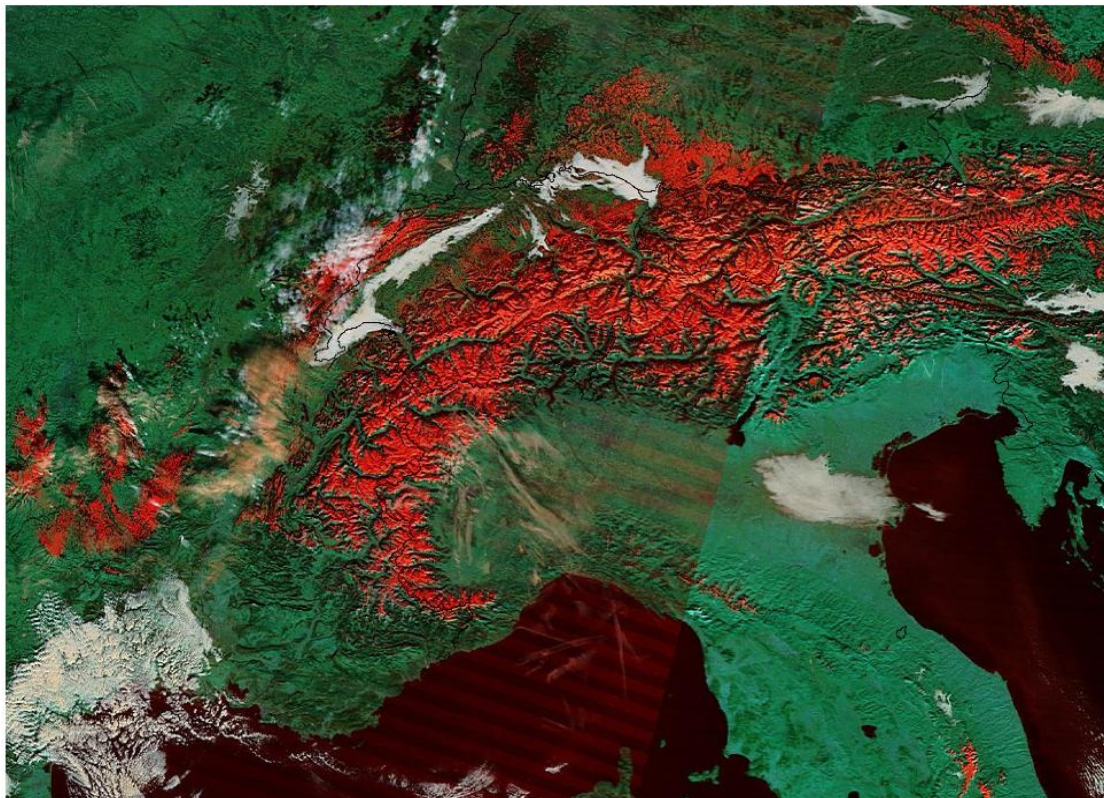


Abb. 12: Satellitenbild Mo 16. Dezember 2013: klarer Himmel, schneebedeckte Alpen (rot), Hochnebel über Bodensee / Rhein und Jura Südfuss [http://lance2.modaps.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=AERONET_Ispra]

4.2 Histogrammverteilung der gemessenen Stundenmittelwerte

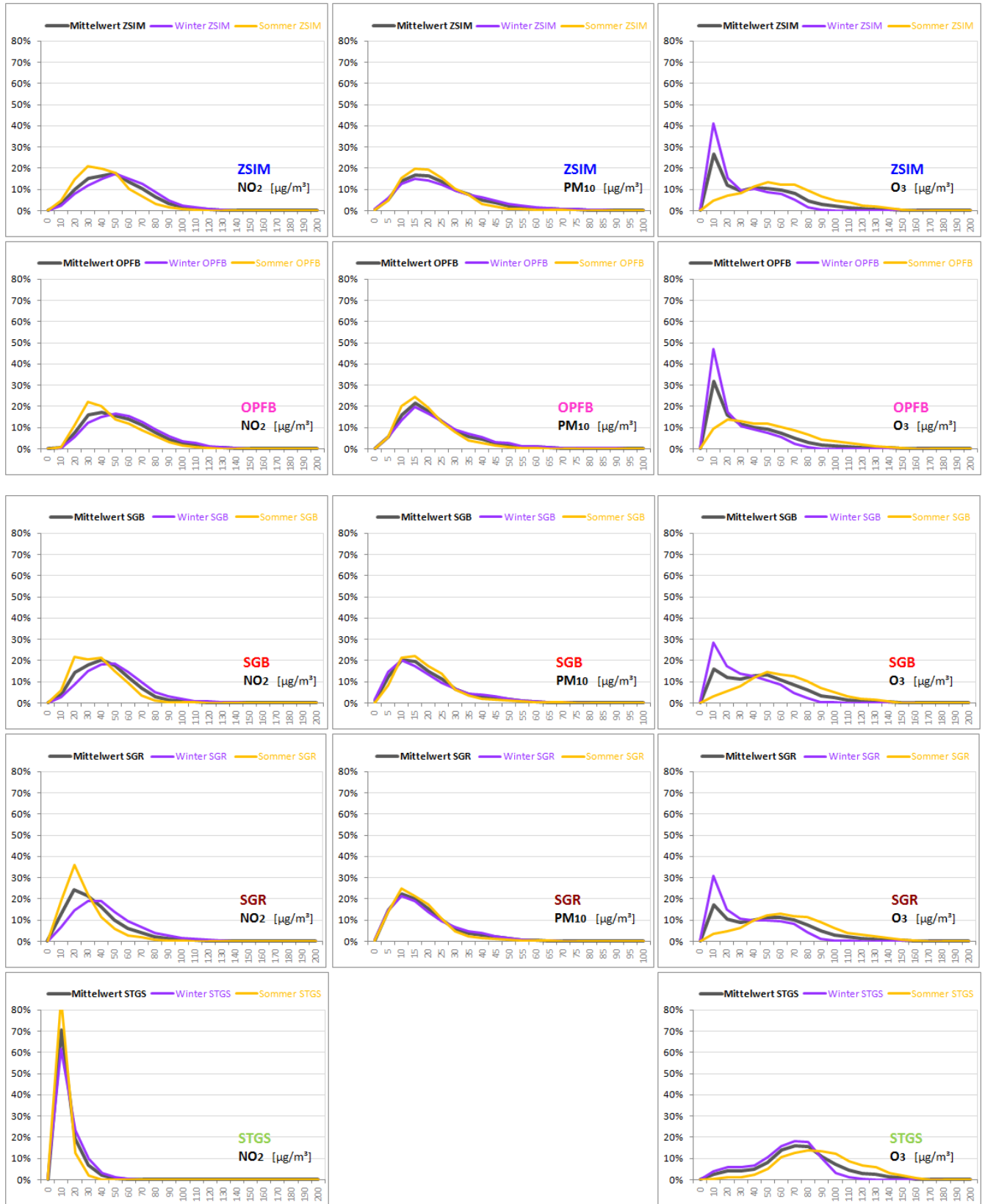


Abb. 13: Histogramme für Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon, Basis h1 (Mittelwert gesamter Messzeitraum (schwarz), Winter (violett) = 4.Q 2012, 1.Q und 4.Q 2013, Sommer (orange) = 2.Q und 3.Q 2013)

Die Verteilung beim NO₂ ist an allen Strassenstandorten ähnlich: Das Maxima liegt im Winter bei 30 bis 60 µg/m³, im Sommer bei 20 und 40 µg/m³. Die erhöht liegende Messstation SG Stuelegg zeigt beim NO₂ fast keine jahreszeitlichen Unterschiede.

Die Histogrammverteilung der PM10 Messwerte zeigt im Gegensatz zu den anderen Schadstoffen an allen Strassenstandorten keine jahreszeitlichen Unterschiede. Von SG Stuelegg liegen in diesem Messzeitraum keine PM10 Messdaten vor.

Die Ozonmesswerte verhalten sich, wie erwartet, komplett anders: Die Verteilung an den Strassenstandorten unterscheiden sich im Sommer (breite Verteilung 20 bis 80 µg/m³) und Winter (mit vielen Messwerten zwischen 10 bis 20 µg/m³) deutlich. Im Winter mit Bodeninversionen und sehr hohen Stickoxidwerten sinken die Ozonmesswerte an den Strassenmessorten gegen Null. Die Messstation Stuelegg liegt weit entfernt von direkten Stickoxidemissionen und sie befindet sich im Winter auch oft über der Talinversion. Die maximale Verteilung im Winter ist etwas enger aber nur geringfügig tiefer.

4.3 Tagesmittelwerte über die gesamte Messzeit

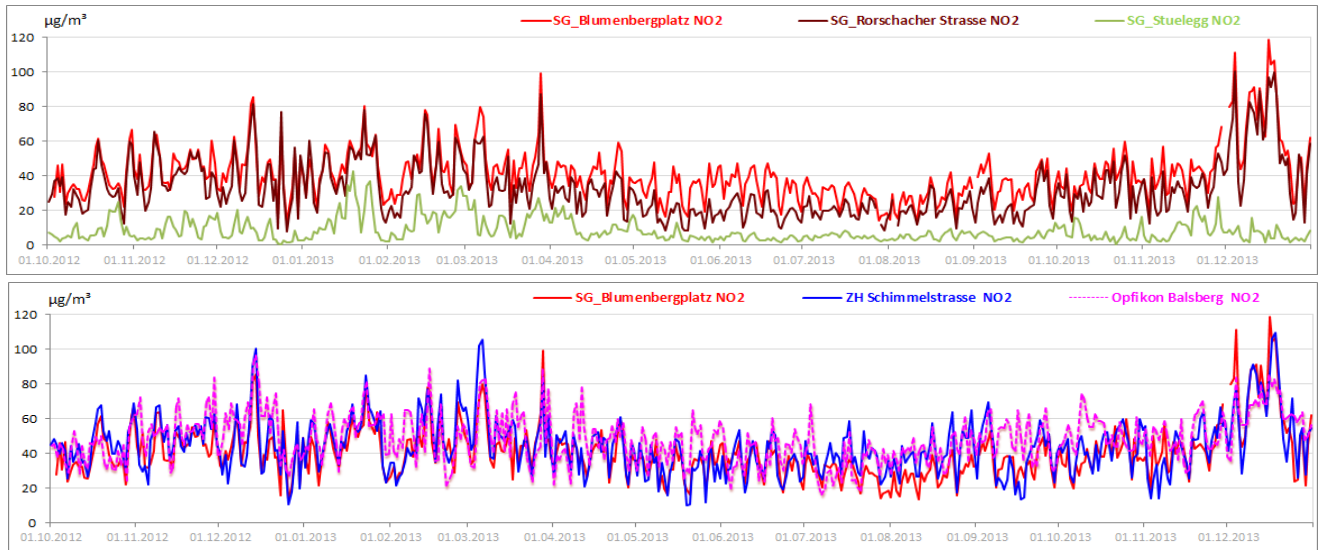


Abb. 14: Tagesmittelwerte für Stickstoffdioxid (Okt 2012 bis Dez 2013)

Beim NO₂ sind die Konzentrationen stark verkehrs- und wetterabhängig. Deshalb sind, trotz grosser räumlicher Distanzen, fast dieselben Verläufe an den Strassenstandorten erkennbar. Die Korrelationen zwischen SG Blumenbergplatz und ZH Schimmelstrasse ($R^2 = 0.6763$) respektive Opfikon Balsberg ($R^2 = 0.3844$) sind jedoch gering. Verursacht wird dies durch den lokalen Einfluss der Strassenschlucht in Zürich respektive der abgesenkten Flughafenautobahn in Opfikon.

Die NO₂ Korrelation innerhalb der Stadt St.Gallen ist deutlich grösser ($R^2 = 0.8652$). Im Sommer (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ist die Differenz zwischen den beiden Messorten höher als im Winter (7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

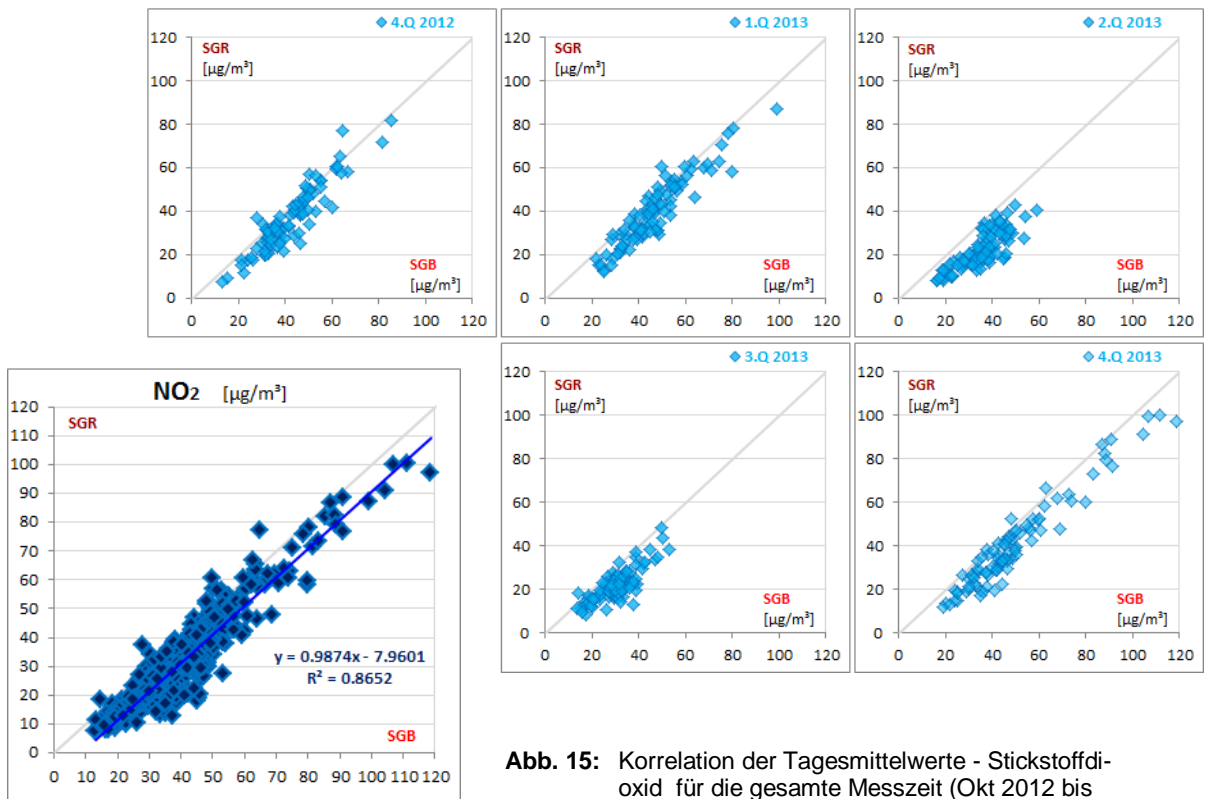


Abb. 15: Korrelation der Tagesmittelwerte - Stickstoffdioxid für die gesamte Messzeit (Okt 2012 bis Dez 2013) und je Quartal

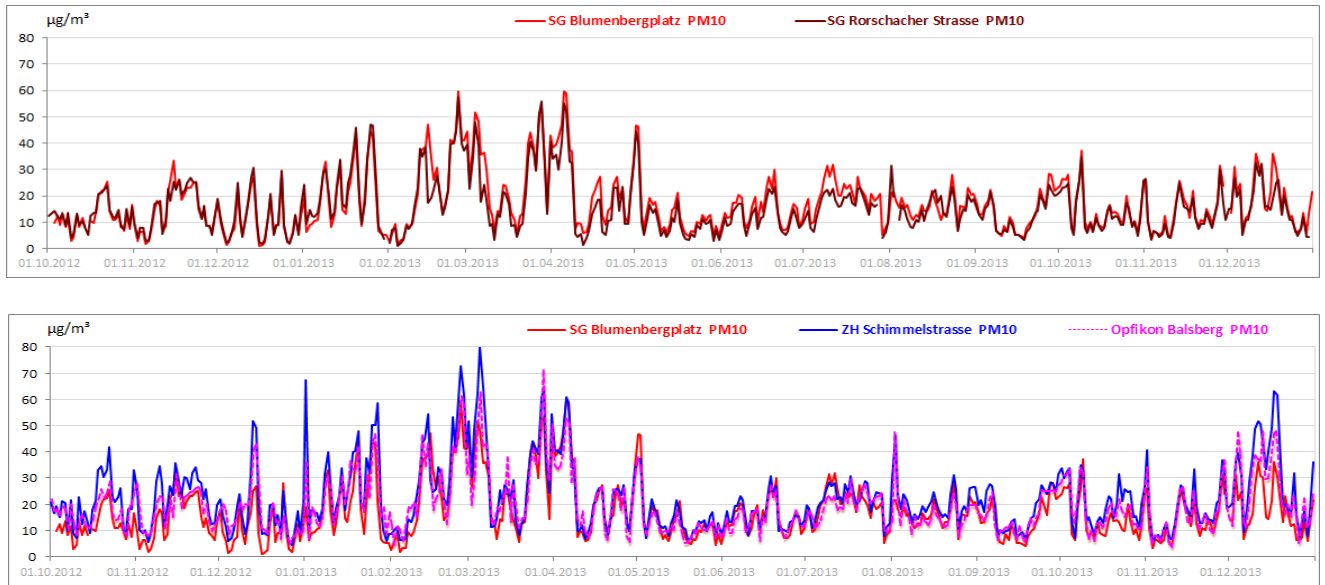


Abb. 16: Tagesmittelwerte für Feinstaub PM10 (Okt 2012 bis Dez 2013)

Die Feinstaub PM10 Messwerte sind sehr stark vom Hintergrundanteil bestimmt und auch Meteorologieabhängig. Die Konzentrationen zeigen deshalb einen ähnlichen Verlauf und die Korrelation zwischen SG Blumenbergplatz und ZH Schimmelstrasse ($R^2 = 0.7536$) und Opfikon Balsberg ($R^2 = 0.7390$) sind deutlich höher als beim NO_2 . Die Korrelation mit SG Rorschacher Strasse ($R^2 = 0.9106$) zeigt auch wieder den hohen Hintergrundanteil an den PM10 Messwerten in der Stadt St.Gallen. Die Messwerte unterscheiden sich im Sommer ($2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) etwas mehr als im Winter ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

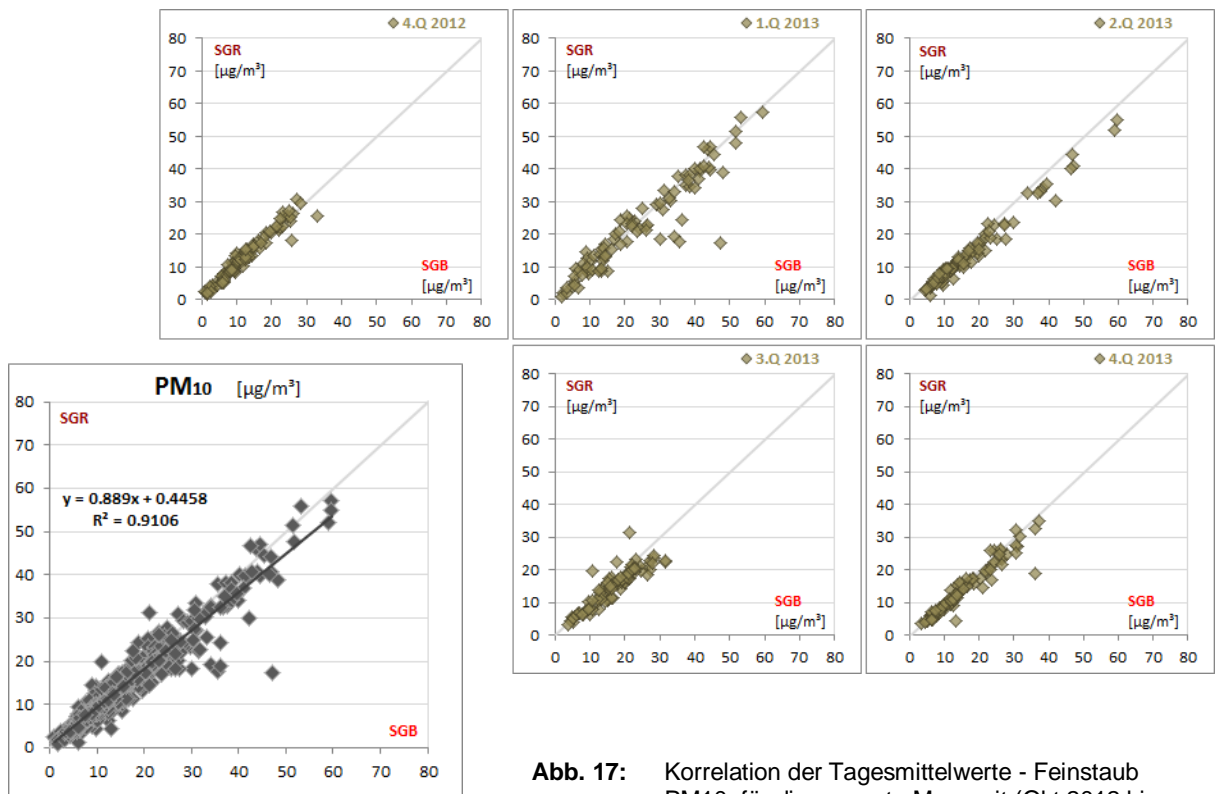


Abb. 17: Korrelation der Tagesmittelwerte - Feinstaub PM10 für die gesamte Messzeit (Okt 2012 bis Dez 2013) und je Quartal

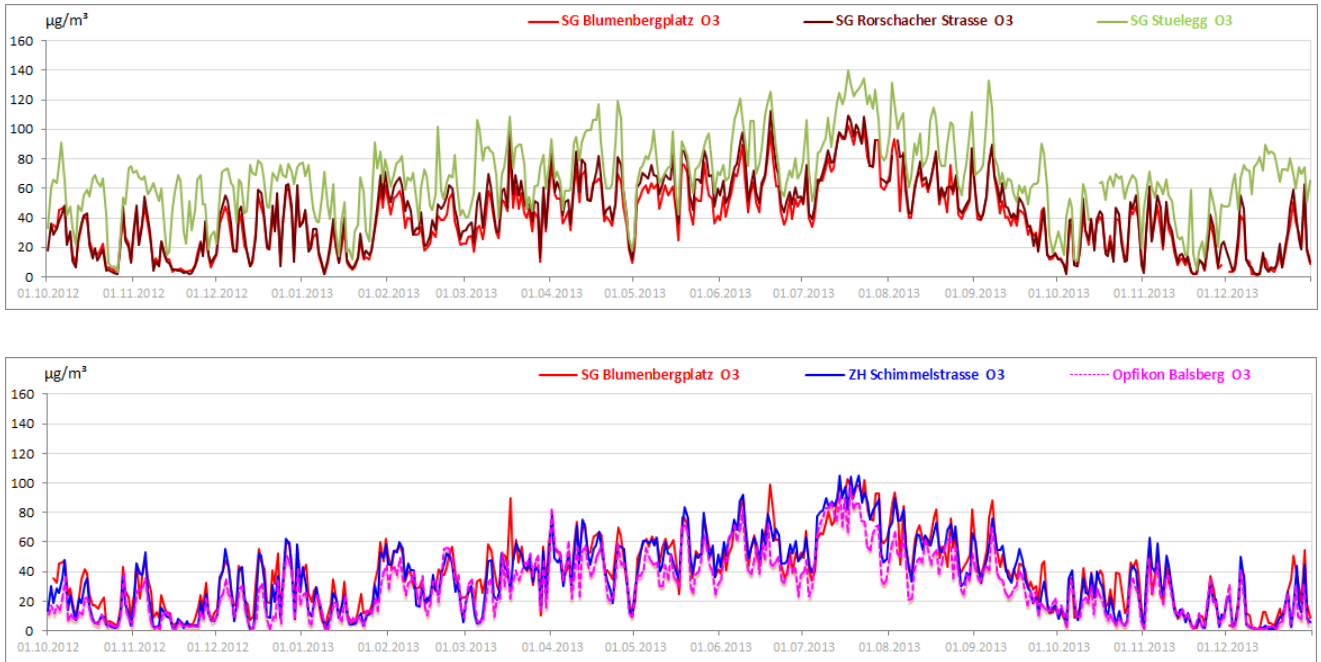


Abb. 18: Tagesmittelwerte für Ozon (Okt 2012 bis Dez 2013)

Die Ozonmittelwerte SG Stuelegg sind deutlich höher als die Strassenmessorte. Die Stuelegg liegt im Winter oft über der Inversion und zeigt öfters Föhneinfluss. Die stark mit belasteten Strassenmessorte SG Blumenbergplatz, ZH Schimmelstrasse ($R^2 = 0.8838$) sowie Opfikon Balsberg ($R^2 = 0.7967$) korrelieren trotz lokal sehr unterschiedlichen Stickoxidemissionen überraschend gut miteinander. Der grosse Meteeinfluss auf die Ozonkonzentration ist klar ersichtlich. Die beiden Messstationen in St.Gallen zeigen eine sehr gute Korrelation ($R^2 = 0.9630$). Die Ozonkonzentrationen unterscheiden sich Sommer ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und im Winter ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nur geringfügig; allerdings sind beim O_3 die Werte an der SG Rorschacherstrasse (im Gegensatz zu den anderen Schadstoffen) leicht höher.

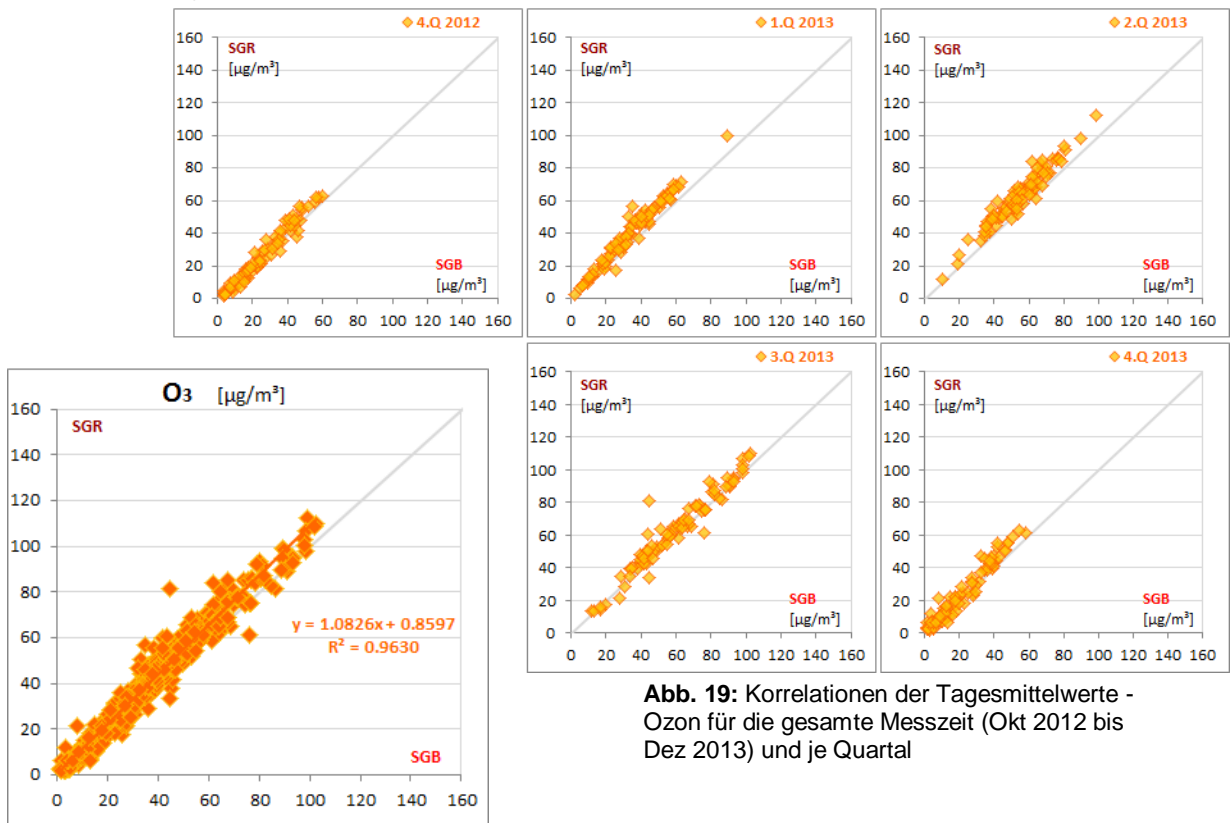


Abb. 19: Korrelationen der Tagesmittelwerte - Ozon für die gesamte Messzeit (Okt 2012 bis Dez 2013) und je Quartal

4.4 Quartalsmittelwerte in der Stadt St.Gallen

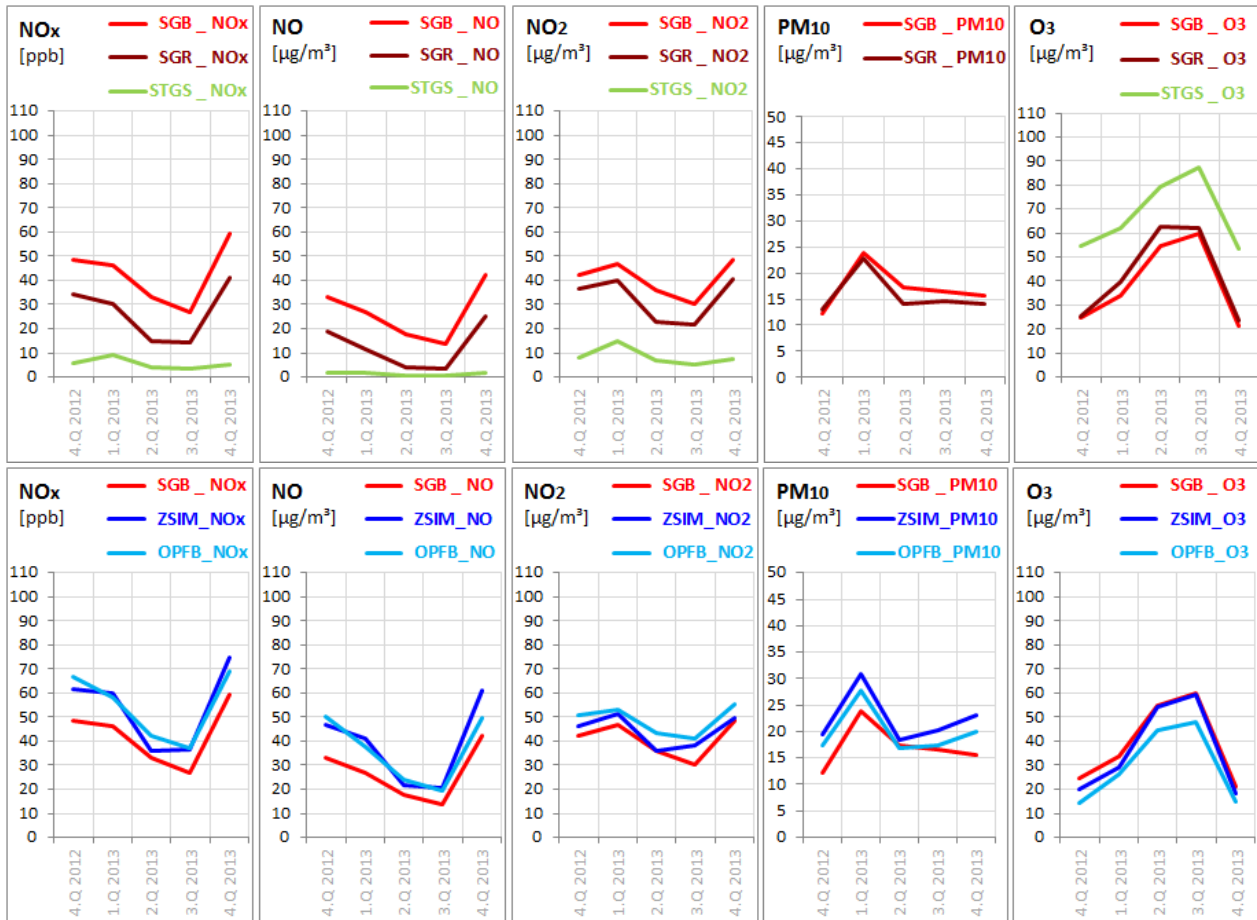


Abb. 20: Quartalsmittelwerte von Okt 2012 bis Dez 2013 für Stickoxide, Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon

Die Quartalsmittelwerte zeigen den erwarteten Unterschied für Sommer- und Wintermesswerte. Zur Berechnung von mittleren Tagesgängen der einzelnen Schadstoffe sind sie allerdings nicht geeignet da Wetterlagen wie Inversionen die Messwerte zu stark beeinflussen. Aus diesem Grund sind die mittleren Tagesgänge in den folgenden Kapiteln für die gesamte Messzeit oder als Winter / Sommer Unterschied dargestellt.

	SGB					SGR					STGS				
	NOx	NO	NO2	PM10	O3	NOx	NO	NO2	PM10	O3	NOx	NO	NO2	PM10	O3
4. Q 2012	48.8	33.1	42.5	12.2	24.7	34.2	18.7	36.8	12.9	25.3	5.5	1.6	8.1	-	54.4
1. Q 2013	46.0	26.9	46.8	23.9	33.9	30.1	11.3	40.2	22.9	39.7	9.2	1.9	14.8	-	62.2
2. Q 2013	32.9	17.7	35.7	17.3	54.6	14.9	3.9	22.6	14.2	62.8	4.0	0.7	6.6	-	79.2
3. Q 2013	27.0	14.0	30.1	16.6	59.9	14.5	3.7	21.9	14.7	62.1	3.3	0.8	5.1	-	87.5
4. Q 2013	59.3	42.3	48.6	15.6	21.3	41.2	24.9	40.6	14.2	23.3	5.2	1.8	7.2	-	53.7
	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³

	SGB					ZSIM					OPFB				
	NOx	NO	NO2	PM10	O3	NOx	NO	NO2	PM10	O3	NOx	NO	NO2	PM10	O3
4. Q 2012	48.8	33.1	42.5	12.2	24.7	61.6	46.8	46.1	19.5	20.1	66.9	50.5	50.5	17.4	14.3
1. Q 2013	46.0	26.9	46.8	23.9	33.9	60.1	41.2	51.6	30.8	29.4	58.0	37.8	53.0	27.7	26.1
2. Q 2013	32.9	17.7	35.7	17.3	54.6	36.1	21.7	35.9	18.4	54.0	42.0	24.0	43.5	16.8	44.8
3. Q 2013	27.0	14.0	30.1	16.6	59.9	36.5	20.5	38.3	20.1	59.2	37.1	19.3	41.3	17.3	48.0
4. Q 2013	59.3	42.3	48.6	15.6	21.3	74.8	60.9	49.6	23.0	18.2	68.9	49.9	55.2	20.0	14.8
	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppb	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³

Abb. 21: Quartalsmittelwerte von Okt 2012 bis Dez 2013

4.5 Mittlerer Luftschadstoff-Tagesgang über die gesamte Messperiode

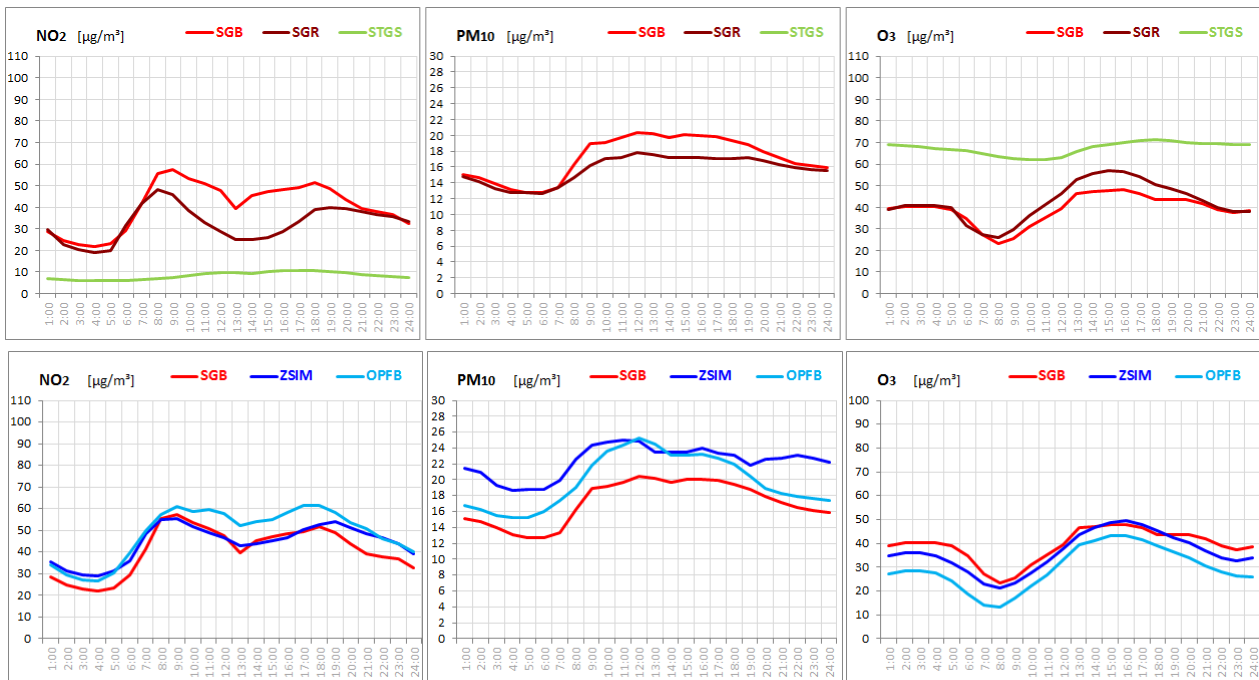


Abb. 22: Mittlerer Tagesgang für Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon (Okt 2012 bis Dez 2013)

Die NO₂ Messwerte am SG Blumenbergplatz steigen zusammen mit dem Morgenverkehr an und bleiben bis zum abklingenden Verkehr am Abend fast konstant hoch bis zu einem kleinen Einbruch über Mittag. Der Verlauf in Zürich und an der Flughafenautobahn sind ähnlich. An der SG Rorschacher Strasse sind der Morgen- und Abendpeak deutlicher erkennbar. Der Verkehrsfluss im Bereich der Messstation SG Rorschacher Strasse fliesst ohne Unterbruch mit Tempo 50 (entsprechend an der Flughafenautobahn mit Tempo 100) im Gegensatz zum SG Blumenbergplatz (entsprechend in ZH an der Schimmelstrasse) wo der Verkehr im regelmässigen Abstand durch ein Ampelsteuerung zu Stillstand kommt. Die Verkehrszahlen der Messorte in St.Gallen sind im Anhang als mittlerer Tagesgang je Woche aufgezeigt.

Beim Feinstaub PM10 sind die Differenzen zwischen Tag und Nacht geringer, aber der lokale PM10 Beitrag zur Hintergrundbelastung ist in Zürich deutlich zu sehen.

Die O₃ Konzentration an den Strassenmessorten ist ähnlich - die höchsten Messwerte sind an der SG Rorschacher Strasse gemessen worden Opfikon Balsberg ist am tiefsten. Die Messwerte von SG Stuelegg zeigen kaum einen Tagesgang.

Die minimale Konzentration von NO₂ und PM10 kommt in der Nacht zwischen 2 bis 5 Uhr vor. Die erhöhten Messwerte tagsüber treten zwischen 7 bis 18 Uhr auf. Das Minimum der Ozonkonzentration tritt später auf (6 bis 9 Uhr) mit steigenden NO_x Werten. Die Ozonwerte steigen im Laufe des Vormittags an und bleiben bis in den Abend erhöht (11 bis 22 Uhr). Die Differenz zwischen diesen minimalen und maximalen Zeiträumen ist in der Grafik dargestellt.

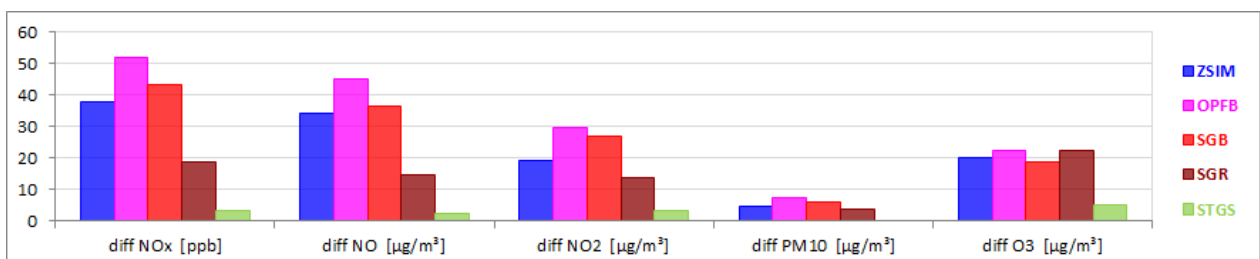


Abb. 23: Konzentrations-Differenz: Maximaler minus Minimaler Zeitbereich im Tagesgang (Okt 2012 bis Dez 2013)

4.6 Mittelwert der gesamten Vergleichsmessung

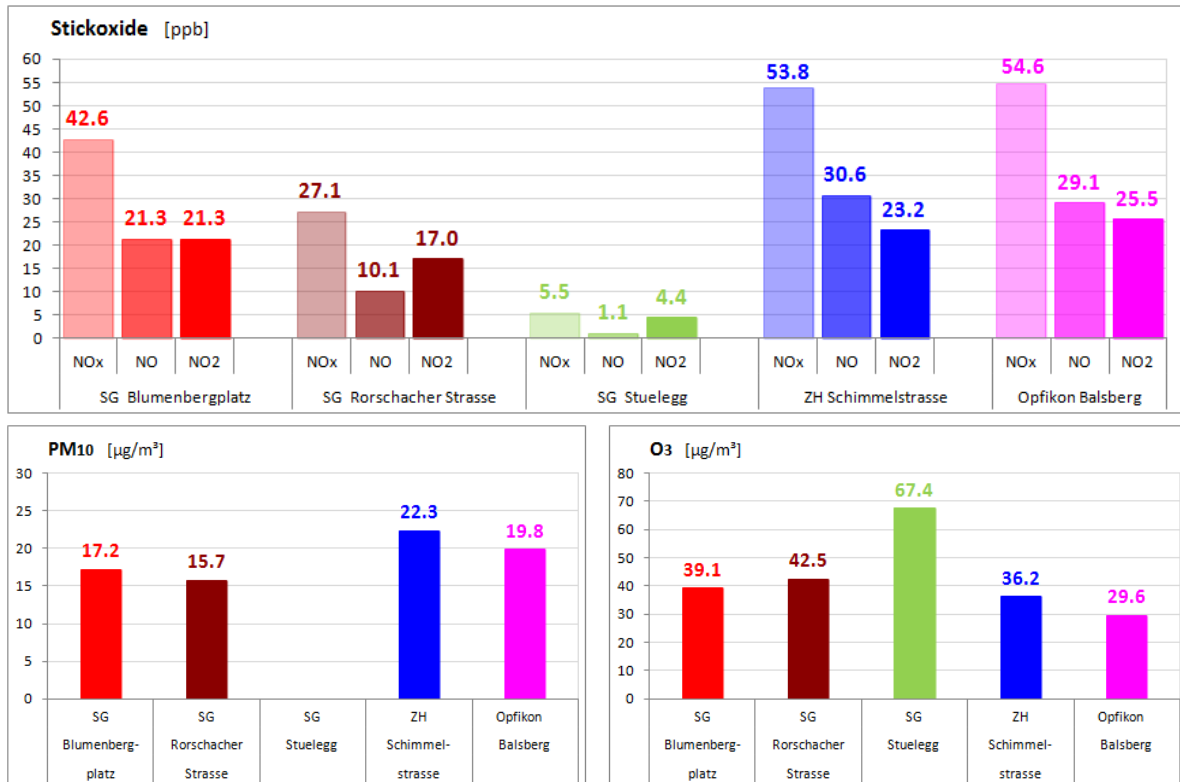


Abb. 24: Mittelwert der gesamten Messzeit (Okt 2012 bis Dez 2013) für Stickoxide, Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon

Die NO_x an den Strassenstandorten in Zürich (DTV 27'500, Strassenschlucht, Tempo ≤ 50 km/h und Ampel) sowie Opfikon (DTV knapp 100'000, offene Bebauung, Tempo 100 km/h) liegen deutlich über SG Blumenbergplatz (DTV 24'300, geschlossene Bebauung, Tempo ≤ 50 km/h und Ampel). Dies ist überwiegend auf die erhöhten NO Werte zurückzuführen – die NO₂ Messwerte unterscheiden sich weniger deutlich. Die O₃ Messwerte sind an den Strassenstandorten in Zürich dementsprechend tiefer. Die PM10 Konzentrationen im Raum Zürich liegen immer noch um respektive über dem LRV-Tagesmittel-Grenzwert.

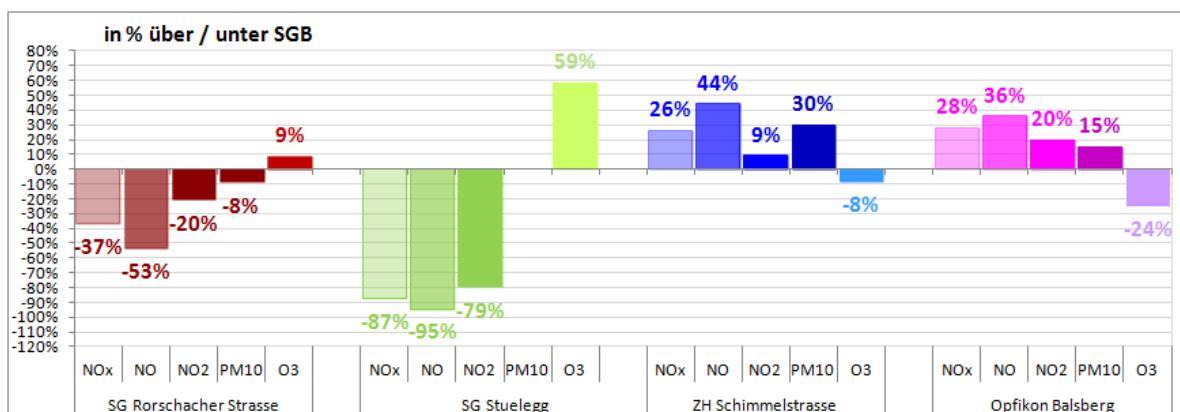


Abb. 25: Prozentuale Differenz zu SG Blumenbergplatz über die gesamte Messzeit

Von den Strassenstandorten sind auch Messwerte von Elementarem Kohlenstoff (EBC) vorhanden. Sie sind bestimmt aus 30 Quarzfaserfiltern, die regelmässig über das Jahr verteilt alle 12 Tage exponiert werden. Die Reflexionsmesswerte sind mit dem heute verwendeten Standardverfahren nach EC TOT Eusaar2 umgerechnet. Dazu werden acht unterschiedlich hoch belastete Filter analysiert. Bei diesen Filtern wird neben EC auch OC bestimmt.

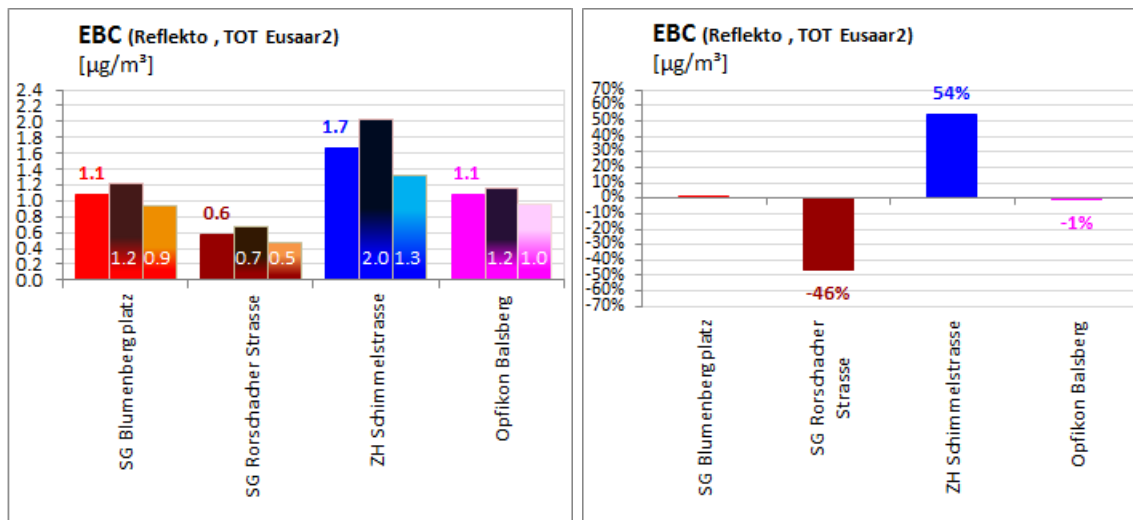


Abb. 26: EBC Mittelwerte mit Winter- Sommer Unterscheidung und % Belastung von Blumenbergplatz - Messjahr 2013, Mittelwert aus 30 Filtern, bezogen auf EC TOT Eusaar2

Bei den EBC Messwerten wird die direkte Emission der Strasse deutlich sichtbar. In Zürich an der Schimmelstrasse sind die Werte deutlich höher als am SG Blumenbergplatz. Die EBC Messwerte von der Flughafenautobahn sind dagegen fast gleich. Zu erklären ist dies wahrscheinlich mit der höheren und regelmässig gefahrenen Geschwindigkeit und der relativ offenen Umgebung um die Messstation.

Die Messwerte für den Organischen Kohlenstoff sind mehr informativ zu betrachten, denn sie bestehen lediglich aus 8 ausgewählten Filterproben. Die leicht erhöhten Werte am SG Blumenbergplatz können nicht begründet werden und müssen der ungenügenden Repräsentativität der Filterproben zugeschrieben werden.

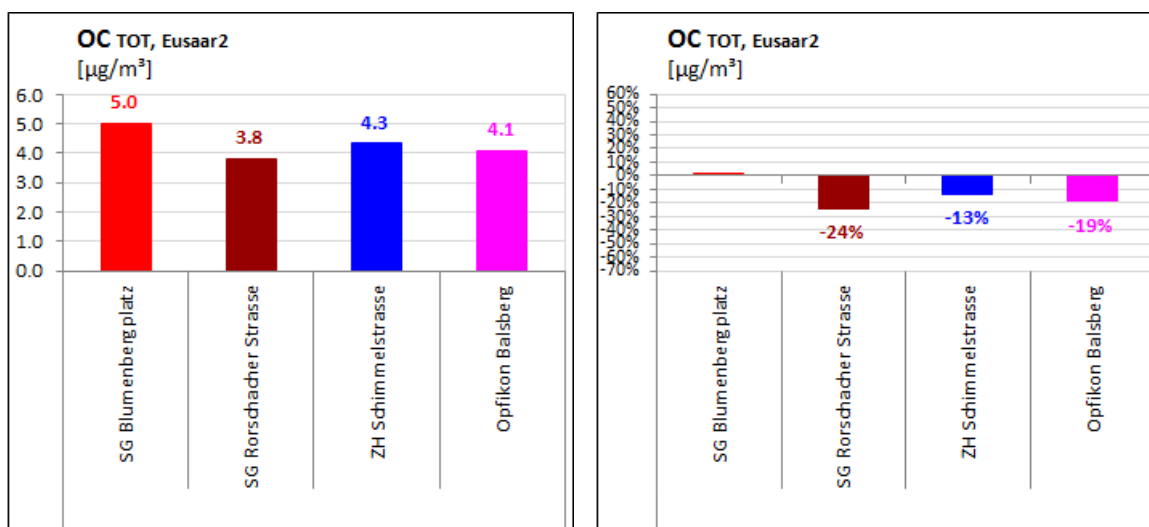


Abb. 27: OC Mittelwert / % Belastung von SG Blumenbergplatz - Messjahr 2013, Mittelwert aus nur 8 Filtern, OC Bestimmung nach OC TOT Eusaar2

4.7 Grenzwertüberschreitungen

Dargestellte Immissionsgrenzwerte gemäss LRV

O ₃ :	120	µg / m ³	1 h Mittelwert
NO ₂ :	80	µg / m ³	24 h Mittelwert
PM ₁₀ :	50	µg / m ³	24 h Mittelwert
CO:	8	mg / m ³	24 h Mittelwert

In den nachfolgenden Tabellen sind die Überschreitungen der Grenzwerte an den Standorten ZH Schimmelstrasse, Opfikon Balsberg, SG Blumenbergplatz, SG Rorschacher Strasse und SG Stuelegg aufgeführt.

NO ₂	ZSIM	OPFB	SGB	SGR	STGS
Okt 12	0	0	0	0	0
Nov 12	0	1	0	0	0
Dez 12	2	2	2	1	0
Jan 13	1	1	0	0	0
Feb 13	1	1	0	0	0
März 13	5	4	1	1	0
Apr 13	0	0	0	0	0
Mai 13	0	0	0	0	0
Jun 13	0	0	0	0	0
Jul 13	0	0	0	0	0
Aug 13	0	0	0	0	0
Sep 13	0	0	0	0	0
Okt 13	0	0	0	0	0
Nov 13	0	0	0	0	0
Dez 13	8	3	10	7	0
total	17	12	13	9	0

PM ₁₀	ZSIM	OPFB	SGB	SGR	STGS
Okt 12	0	0	0	0	-
Nov 12	0	0	0	0	-
Dez 12	1	0	0	0	-
Jan 13	3	0	0	0	-
Feb 13	5	2	1	1	-
März 13	8	4	3	2	-
Apr 13	2	2	2	2	-
Mai 13	0	0	0	0	-
Jun 13	0	0	0	0	-
Jul 13	0	0	0	0	-
Aug 13	0	0	0	0	-
Sep 13	0	0	0	0	-
Okt 13	0	0	0	0	-
Nov 13	0	0	0	0	-
Dez 13	4	0	0	0	-
total	23	8	6	5	0

Abb. 28: Grenzwertüberschreitungen Stickstoffdioxid; 24h

Grenzwertüberschreitungen PM₁₀; 24h

O ₃	ZSIM	OPFB	SGB	SGR	STGS
Okt 12	0	0	0	0	0
Nov 12	0	0	0	0	0
Dez 12	0	0	0	0	0
Jan 13	0	0	0	0	0
Feb 13	0	0	0	0	0
März 13	0	0	0	0	0
Apr 13	0	2	2	16	39
Mai 13	0	0	0	2	0
Jun 13	21	12	14	34	74
Jul 13	102	79	81	114	258
Aug 13	23	5	10	24	83
Sep 13	4	1	4	9	33
Okt 13	0	0	0	0	0
Nov 13	0	0	0	0	0
Dez 13	0	0	0	0	0
total	150	99	111	199	487

Abb. 29: Grenzwertüberschreitungen Ozon; 1h

Auf der Stuelegg sind die höchsten Messwerte für Ozon mit 4 Stunden knapp über 160 µg/m³ im Juli 2013 gemessen worden.

Die Kohlenstoffmonoxid (CO) Grenzwerte wurden an keiner Messstation überschritten.

5 SGR Berechnung aus SGB - "Modellierung"

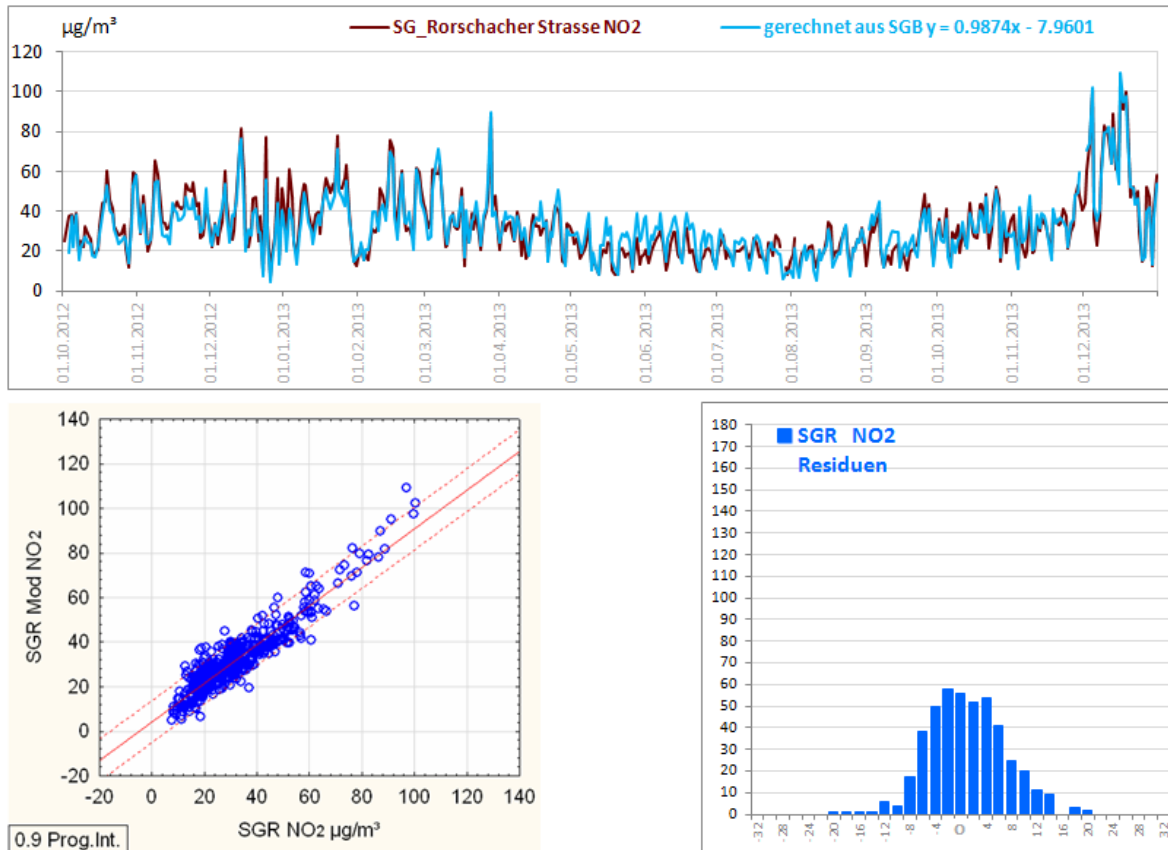


Abb. 30: SGR-Messwerte sowie aus SGB berechnete Stickstoffdioxid Werte (SGR-mod) als zeitlicher Verlauf, Korrelation (Vertrauensintervall 90%) und Histogrammvverteilung der Residuen, Basis Tagesmittelwerte

Die Berechnung der Tagesmittelwerte erfolgt anhand der linearen Korrelation der beiden Messstationen SG Blumenbergplatz und SG Rorschacher Strasse aus Kapitel 4.3.

Die Berechnung der NO₂ Messwerte von SG Rorschacher Strasse aus den Messwerten SG Blumenbergplatz zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten trotz dem hohen lokalen Emissionseinfluss der Stickoxide. Das Bestimmtheitsmass (R^2) der Korrelation beträgt 0.865 Die Streuung der Residuen ist nahezu normalverteilt und die Schwankungsbreite im 90% Vertrauensintervall beträgt $\pm 7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die PM₁₀ Messwerte mit hohem Hintergrundeinfluss lassen sich mit höherem Bestimmtheitsmass berechnen ($R^2 = 0.911$) als beim NO₂. Bei der Streuung der Residuen liegt das Maxima über Null. Die Schwankungsbreite im 90% Vertrauensintervall ist $\pm 5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Ozonmesswerte zeigen ein sehr gutes Bestimmtheitsmass ($R^2 = 0.963$). Die Ozonkonzentration im Talkessel von St.Gallen ist an den Messorten SG Blumenbergplatz und SG Rorschacher Strasse sehr ähnlich und daher auch gut modellierbar. Die Streuung der Residuen ist nahezu normalverteilt und die Schwankungsbreite im 90% Vertrauensintervall ist mit $\pm 3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am geringsten.

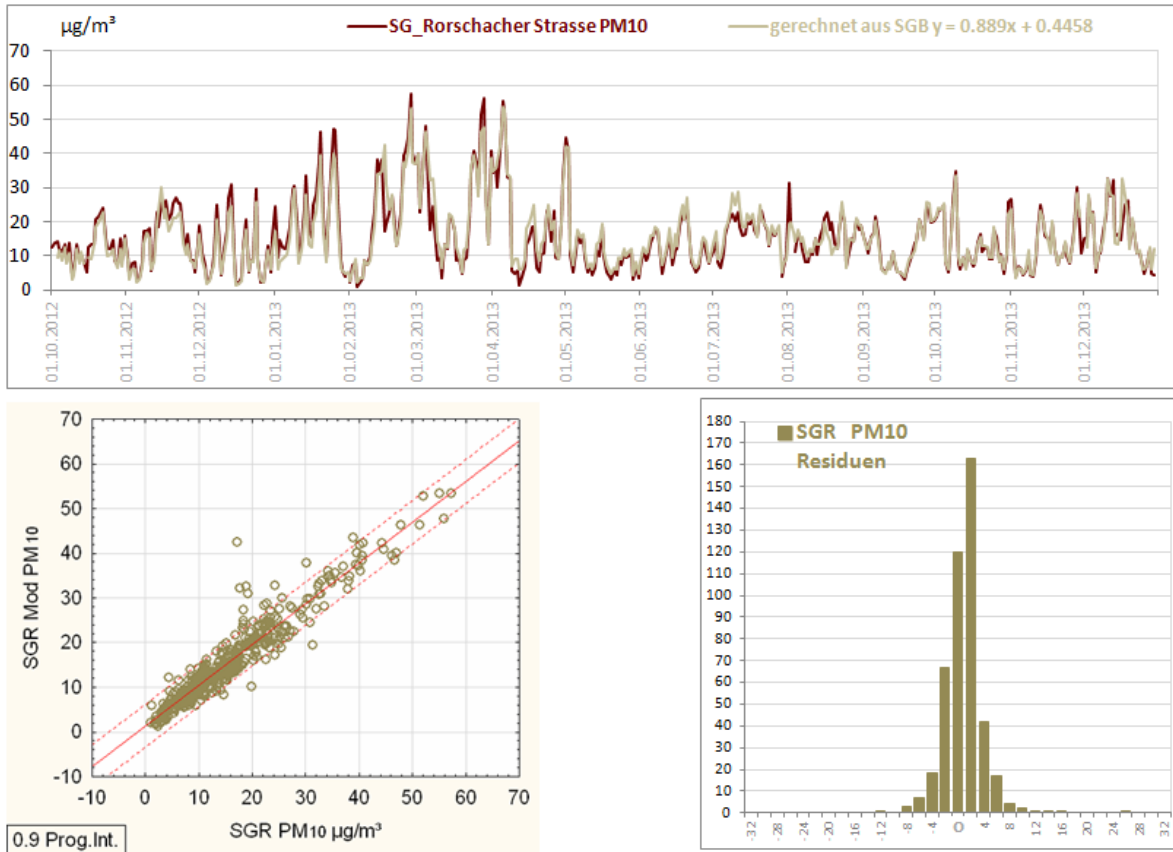


Abb. 31: SGR-Messwerte sowie aus SGB berechnete Feinstaub PM10 Werte (SGR-mod) als zeitlicher Verlauf, Korrelation (Vertrauensintervall 90%) und Histogrammverteilung der Residuen, Basis Tagesmittelwerte

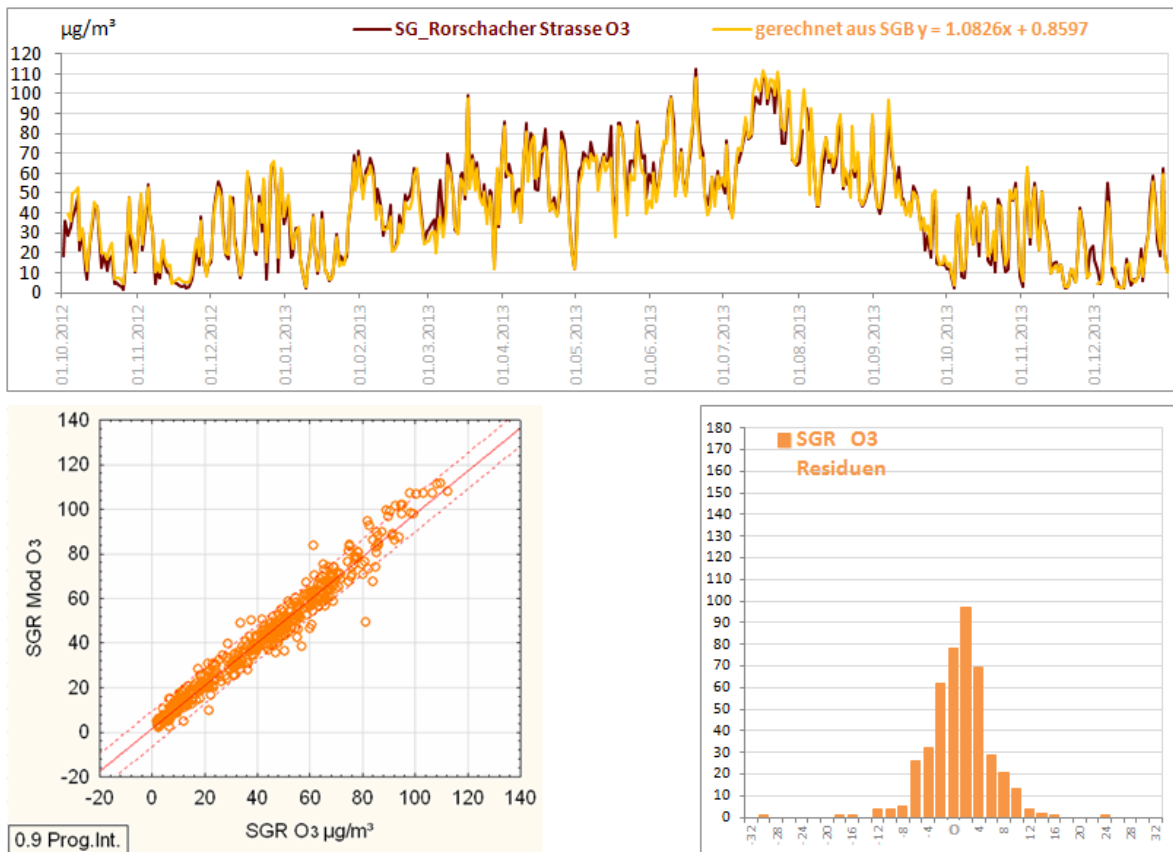


Abb. 32: SGR-Messwerte sowie aus SGB berechnete Ozon Werte (SGR-mod) als zeitlicher Verlauf, Korrelation (Vertrauensintervall 90%) und Histogrammverteilung der Residuen, Basis Tagesmittelwerte

6 Inversionsmessungen

6.1 Inversionserfassung

Die Inversionsmessung erfolgte mittels Höhenprofil 1-3 mit Temperaturloggern montiert unter Passivsammlertöpfe. Als Fusspunkt diente die Messstation SG Rorschacher Strasse und als höchstgelegener Messpunkt wird die Messstation SG Stuelegg mit einbezogen. Somit umfasst die Inversionsmessung über dem Talgrund von St.Gallen 4 Schichten. Die Höhendifferenz zwischen den einzelnen Messpunkten beträgt 30 - 88 m. Der Grund für die Verschiebung vom Messort Höhenprofil 1 war eine zu starke Sonneneinstrahlung im Frühling und Herbst wenn die Bäume ohne Blätter sind.

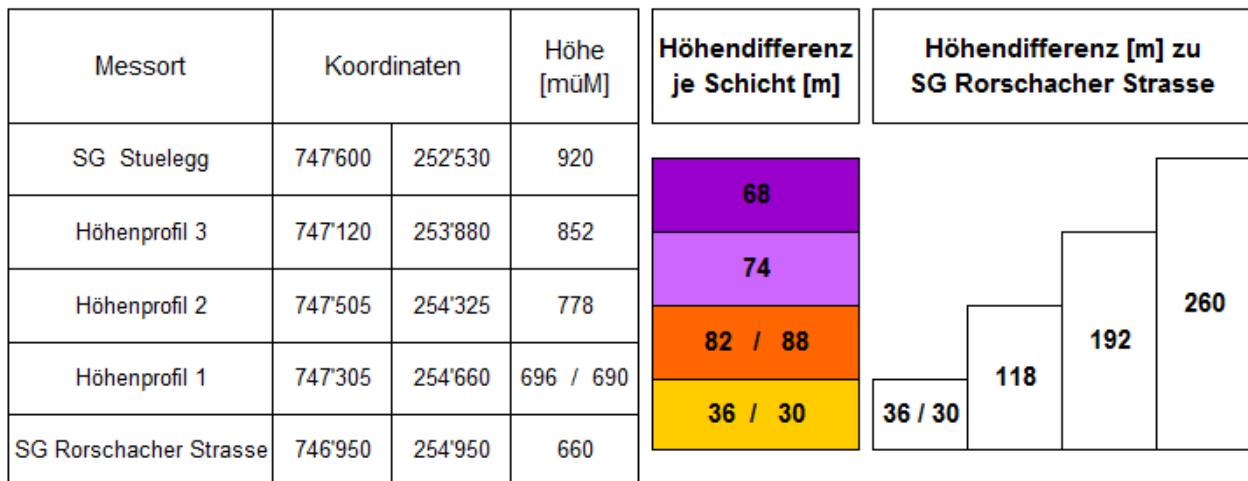


Abb. 33: Schematische Darstellung des Höhenprofils

Die Stärke einer Inversion wird über die Temperaturdifferenz zwischen zwei Messpunkten pro 100 Meter ($\Delta T/100 \text{ m} = X$) definiert:

keine Inversion:			X	<	- 0.5 °C/100 m
schwache Inversion:	- 0.5 °C/100 m	<	X	<	1.5 °C/100 m
mittlere Inversion:	1.5 °C/100 m	<	X	<	4.0 °C/100 m
starke Inversion:	4.0 °C/100 m	<	X		

Die Charakterisierung der Schichtungsstabilität am nur zum Teil bewaldeten Nordhang hat gut funktioniert bis auf die unterste Schicht mit teilweise zu starker Erwärmung des Temperaturloggers über Mittag. Die erhobenen Temperaturdaten sind trotzdem plausibel und aussagekräftig. Aus Parallelmessungen ist eine Messunsicherheit der Logger von maximal $\pm 0.15 \text{ °C}$ ermittelt worden.

6.2 Inversionslagen in St.Gallen

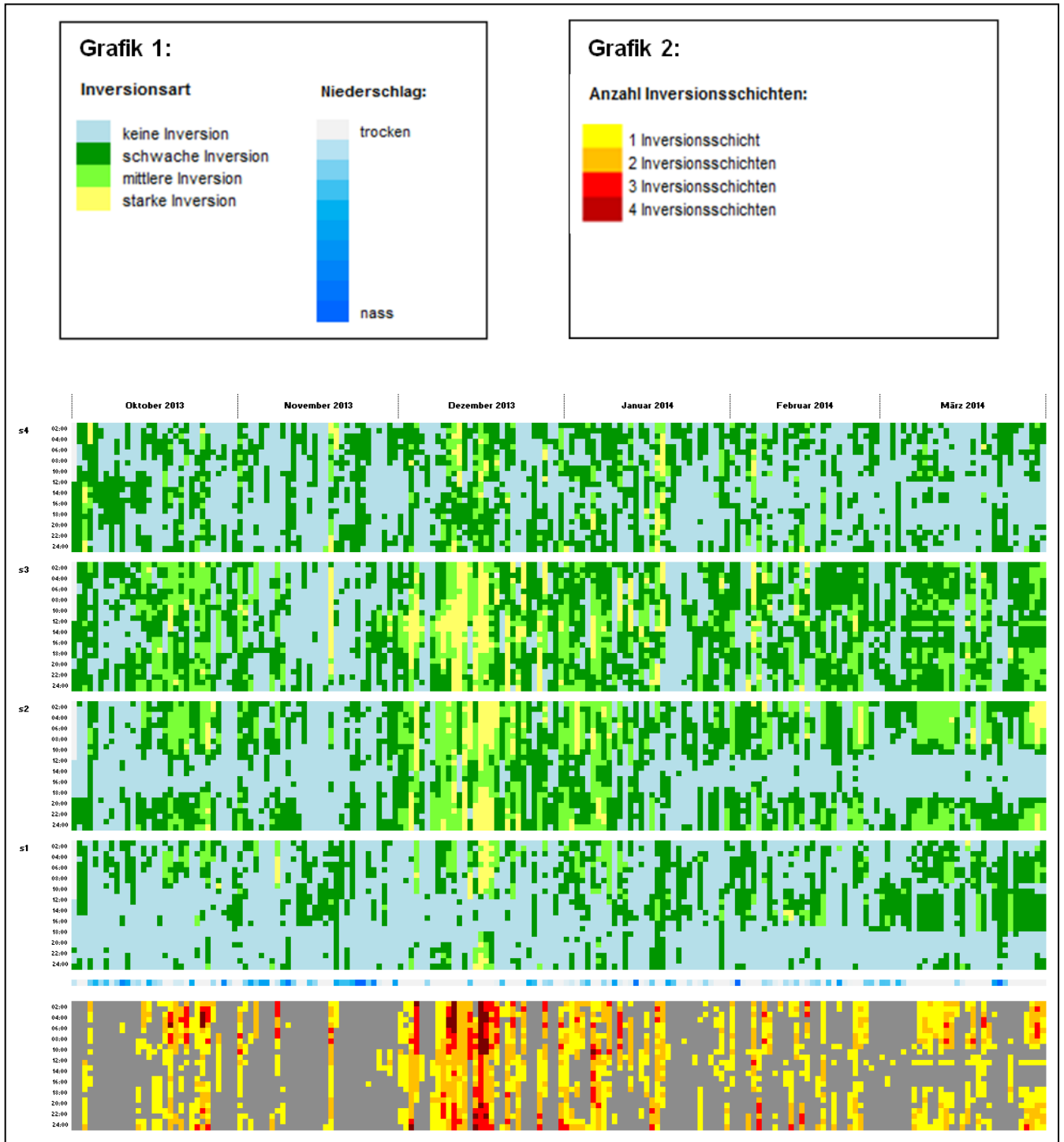


Abb. 34: Zeitliche Verteilung der Inversionen je Schicht und unterschiedlicher Stärke im Winter (01.10.2013 bis 31.03.2014) X-Achse: 1 Tag pro Quadrat, Y-Achse: 1 Stunde pro Quadrat

Die erste Schicht zeigt nur eine geringe Anzahl Inversionen. Sie liegt am nördlichen Hang innerhalb der Bauzone. Der bewaldete Teil des Freudenbergs beginnt erst oberhalb der Speicherstrasse. Die obere Grenze der Schicht 3 endet auf dem Freudenberg. Die Schicht 4 geht weiter hoch bis zur Messstation SG Stuelegg. Dazwischen liegt der kleine Taleinschnitt von St.Georgen.

6.3 Inversionshäufigkeit und -stärke

Die Inversionsstärken sind nach ihrer Häufigkeit pro Schicht in den nachfolgenden Grafiken dargestellt. Die Messzeiträume umfassen für den Winter den Zeitraum von 1. Oktober bis 31. März (182 oder mit Schaltjahr 183 Tage) und für den Sommer 1. April bis 30. September (183 Tage).

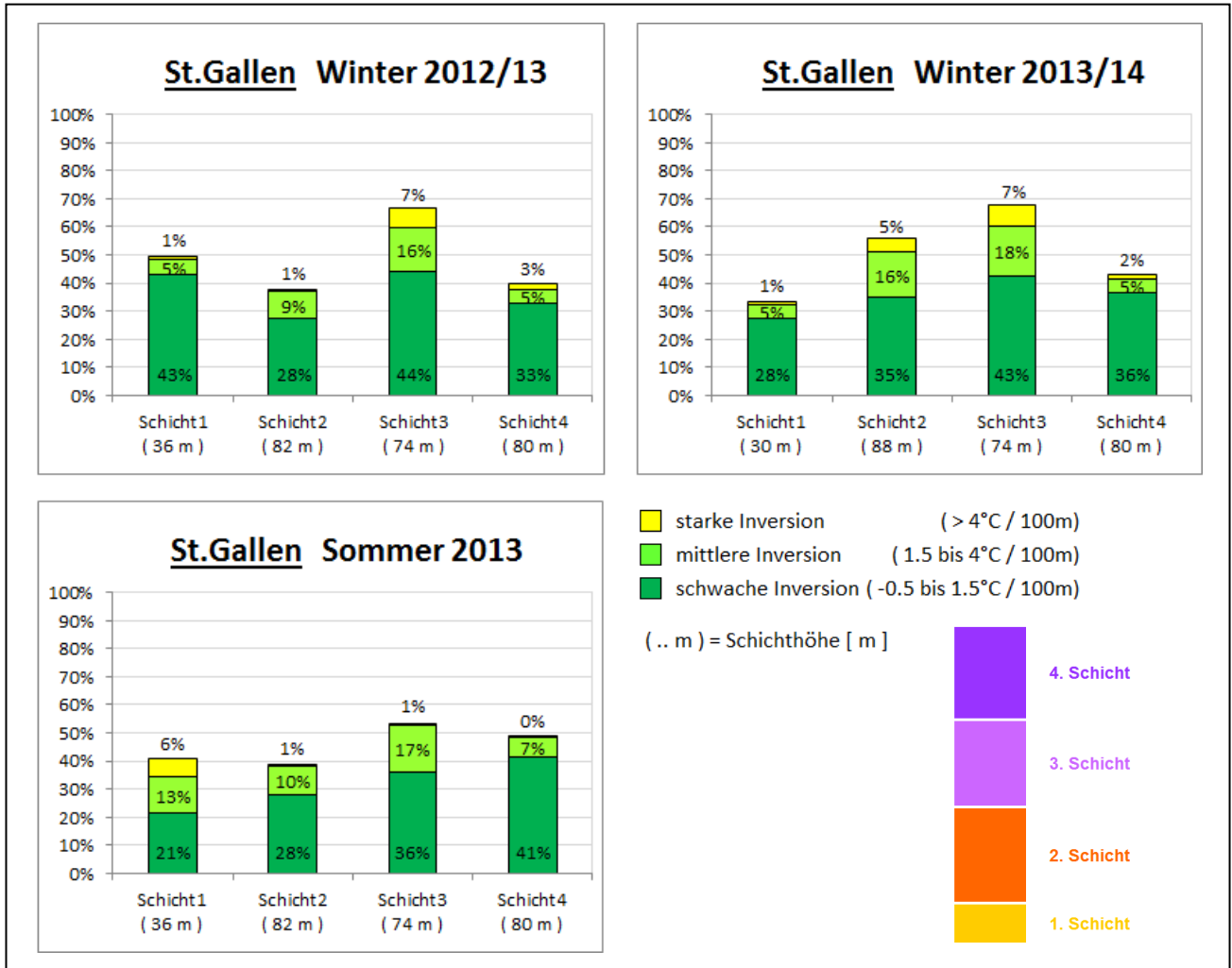


Abb. 35: Inversionshäufigkeit in Prozent je Schicht und Inversionsstärke

Die schwachen Inversionen überwiegen mit einer Häufigkeit von 28 bis 44%. Das Auftreten der mittleren Inversionen ist zwischen 2 und 18% die starken Inversionen sind am geringsten mit 1 bis 7% .

Im ersten Winter sind in der Schicht 2 deutlich weniger Inversionen aufgetreten als im zweiten Winter mit den starken Inversionen im Dezember 2013. Schicht 3 und Schicht 4 sind in beiden Wintern nahezu identisch. Die Schicht 1 ist im ersten Winter höher als im zweiten Winter. Im Sommer treten in Schicht 1 mehr starke Inversionen auf als im Winter.

- starke Inversion (> 4°C / 100m)
- mittlere Inversion (1.5 bis 4°C / 100m)
- schwache Inversion (-0.5 bis 1.5°C / 100m)



Abb. 36: Inversionshäufigkeit in Prozent je Schicht und Inversionsstärke (Summe aller Inversionen = orange) unterschieden nach Monat und total Winter

Im langgezogenen SW / NO ausgerichteten Tal, in dem die Stadt St.Gallen liegt, überwiegen die schwachen Inversionen. Die Inversionshäufigkeit schwankt von Monat zu Monat beträchtlich. Vor allem in der Schicht 2 und Schicht 3 gab es vermehrt mittlere und starke Inversionen. Diese traten vor allem in den Monaten Januar bis März auf und speziell im Dezember 2013.

6.4 Mittlerer Tagesgang der Inversionen

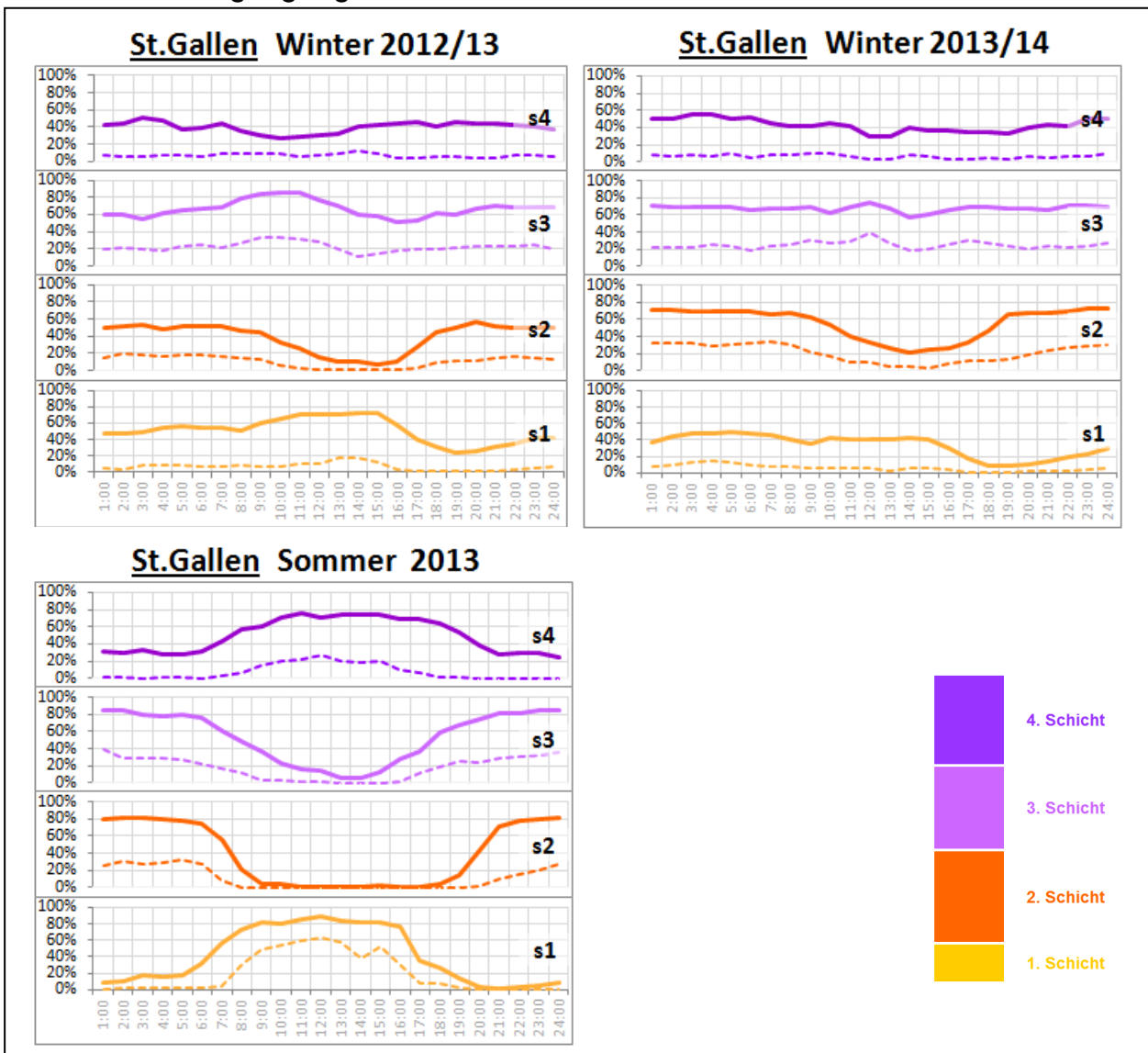


Abb. 37: Gemittelter Tagesgang der Inversionen: ausgezogene Linie = alle Inversionen ($-0.5 \text{ °C} / 100 \text{ m} < X > 4 \text{ °C} / 100 \text{ m}$) und gestrichelte Linie = starke Inversionen ($1.5 \text{ °C} / 100 \text{ m} < X > 4 \text{ °C} / 100 \text{ m}$)

Die Inversionen in den verschiedenen Schichten verhalten sich im Winter anders als bei den vorangegangenen Messungen in Ebnet-Kappel und Appenzell. Nur in der Schicht 2 kommt es zu einem, aufgrund der vorangegangenen Messungen erwarteten, Tagesgang: In der Nacht sind die Inversionen deutlich stärker vorhanden als zur Mittagszeit. Bei Schicht 1 zeigt sich ein ähnliches Verhalten, aber die minimale Häufigkeit ist am Abend. Schicht 3 und Schicht 4 zeigen fast keinen Tagesgang.

Der Tagesgang im Sommer ist viel ausgeprägter, allerdings zeigt Schicht 1 tagsüber Inversionen. Die Schicht 1 umfasst die Höhe zwischen SG Rorschacher Strasse und der Stadtsäge im bebauten Hangbereich. Der bewaldete Bereich des Freudbergs beginnt erst oberhalb der Speicherstrasse. Schicht 2 und 3 liegen in diesem Bereich. Sie zeigen tagsüber deutliche Inversionsminima. Schicht 4 zwischen Freudenberg und SG Stuelegg ist im Verlauf wieder umgekehrt.

Trotz der Tallage, in der sich die Stadt St.Gallen befindet, sind die Inversionsmessungen insgesamt nicht mit Ebnet-Kappel und Appenzell vergleichbar weil die Bebauung und Grösse sehr verschieden sind und auch der Einfluss der Inversionen auf die Tagesgänge der Luftschadstoffe.

6.5 Schadstoffverlauf im Winterhalbjahr - mit und ohne Inversionslage

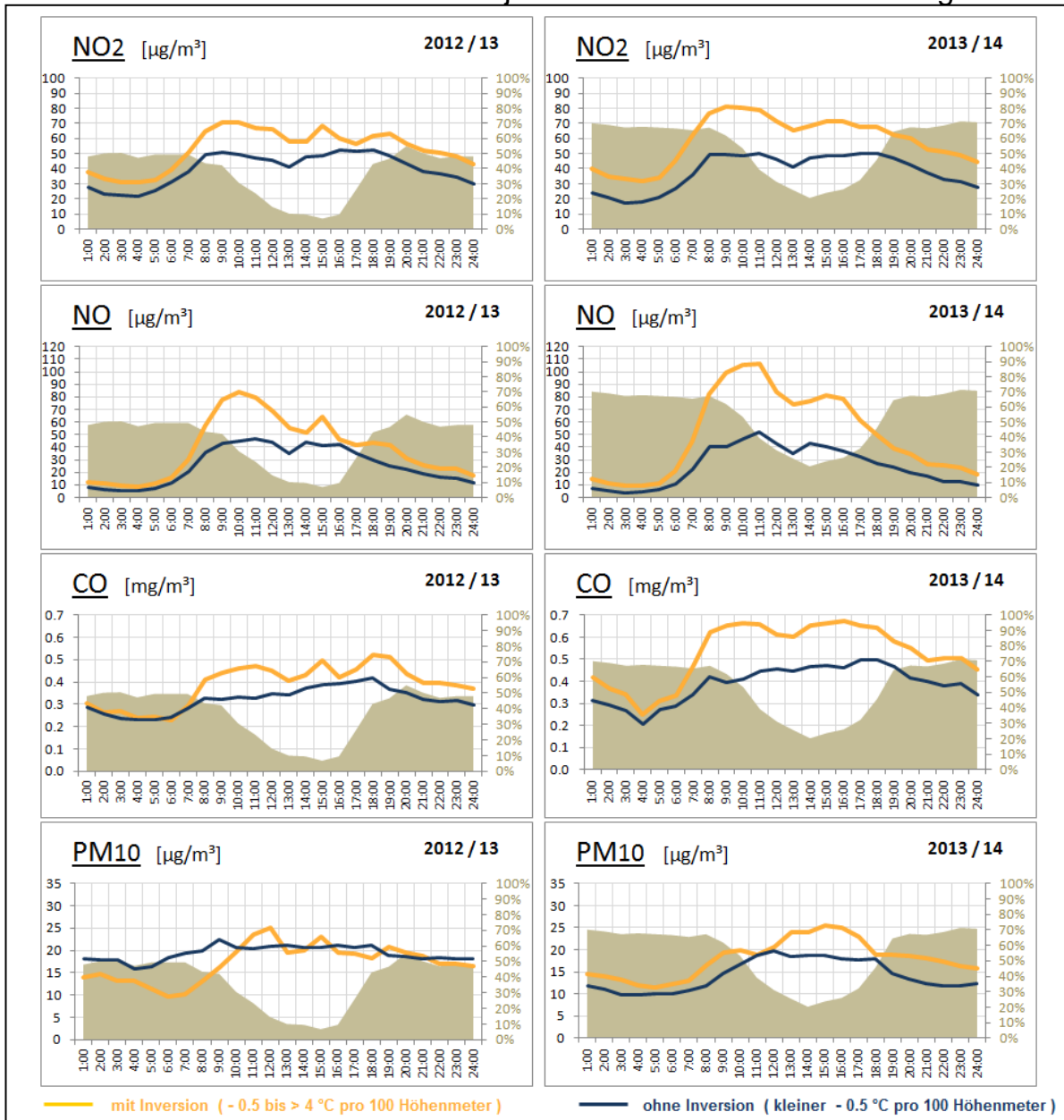


Abb. 38: Schadstofftagesgang SG Blumenbergplatz im Vergleich zur Inversionshäufigkeit in % (rechte Skala)

Der Zusammenhang zwischen der Inversionshäufigkeit in Schicht 2 und den Konzentrationsverläufe der einzelnen Schadstoffe ist weniger deutlich erkennbar als in Ebnat-Kappel oder Appenzell. Auch ohne Inversion sinkt die Schadstoffkonzentration über Mittag nicht ab. Der Einfluss des Verkehrsaufkommens überwiegt tagsüber vor allem bei den Stickoxiden. Die absolute Konzentrationsdifferenz zwischen Wetterlagen mit / ohne Inversion als Mittelwert je Winter:

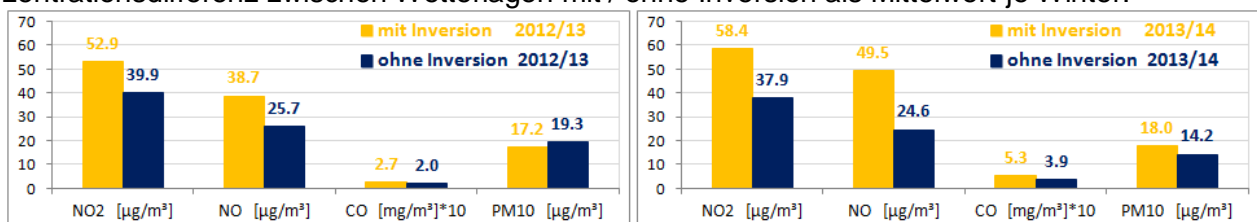


Abb. 39: Schadstoffkonzentration mit und ohne Inversionslage Winter 2012/13 und Winter 2013/14

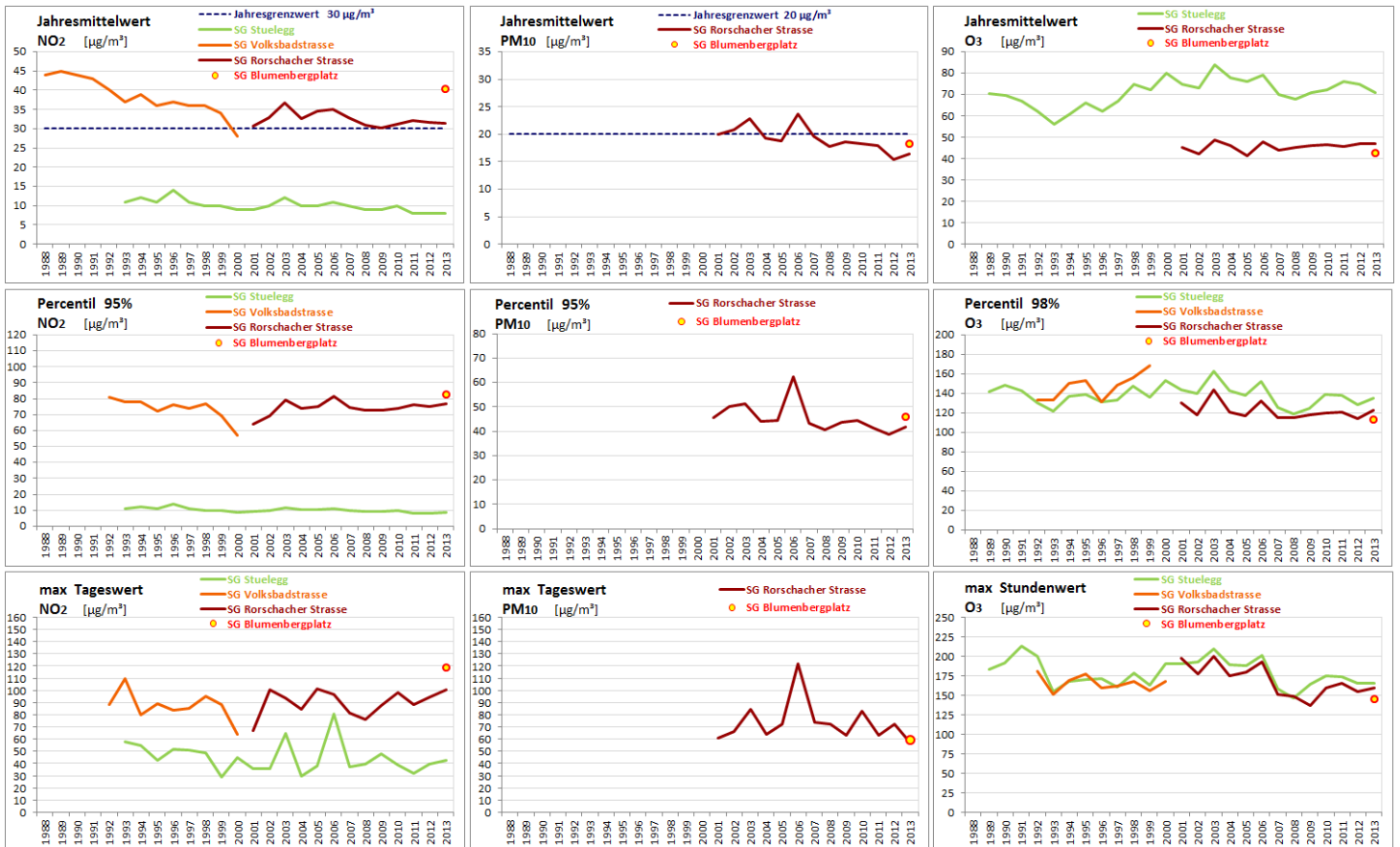


Abb. 43: Jahresmittelwerte seit 1988 - frühere (SG Volksbadstrasse, SG Rorschacher Strasse) und aktuelle Messstationen (SG Blumenbergplatz, SG Stuelegg)

8 Anhang

8.1 DTV

SG Rorschacher Strasse / Singenberg

Unterer Graben

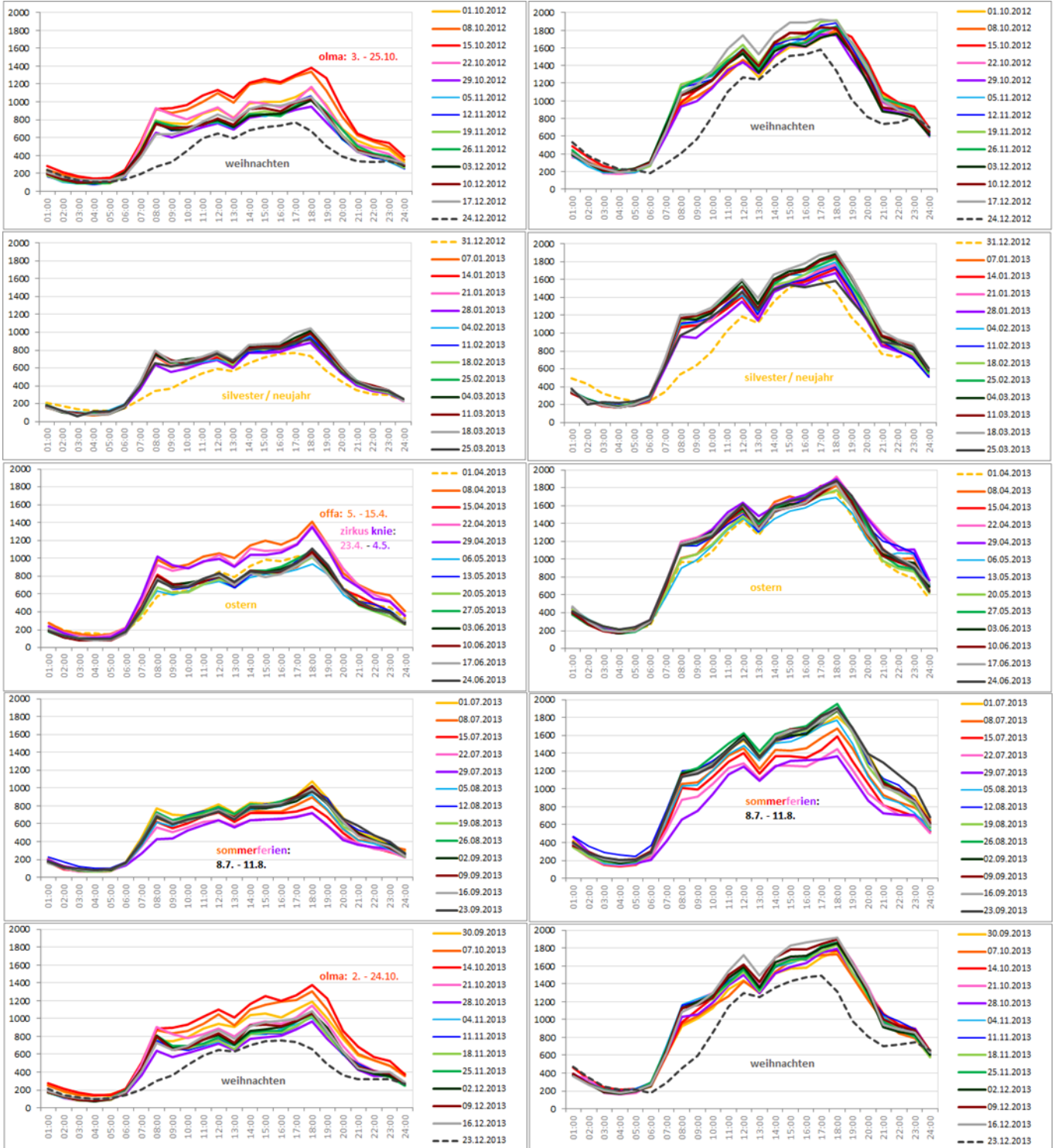


Abb. 44: Anzahl Fahrzeuge pro Stunde aufgeteilt in Wochen (Datum = Wochenanfang)

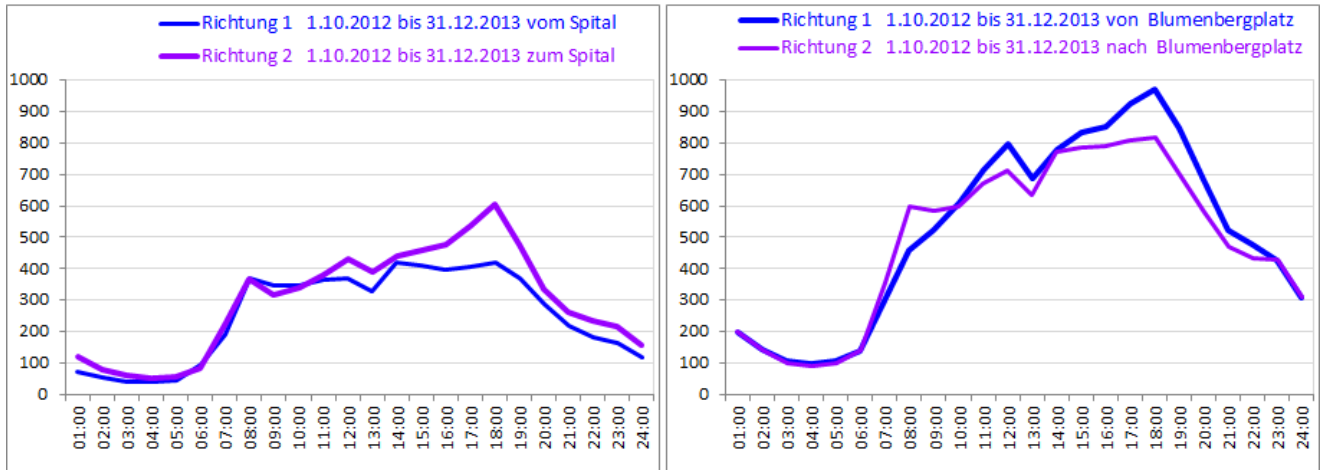


Abb. 45: SG Rorschacher Strasse / Singenberg und Unterer Graben - Anzahl Fahrzeuge pro Stunde - Unterteilt je Richtung (Mittelwert 1.10.2012 bis 31.12.2013)

Die Verkehrszahlen steigen am Morgen zwischen 6:00 und 7:00 rasch an. Die Anzahl steigt dann nur noch leicht, aber bis zum Abend. An beiden Messorten sind die Maxima zwischen 17:00 und 18:00 gemessen worden. Nachher sinkt die Anzahl Fahrzeuge wieder relativ rasch ab.

	DTV [Fahrzeuge / Tag]		DTV [Fahrzeuge / Tag]
Richtung vom Spital	6'054	Richtung nach Blumenbergplatz	11'815
Richtung zum Spital	7'097	Richtung von Blumenbergplatz	12'505
total	13'151	total	24'320

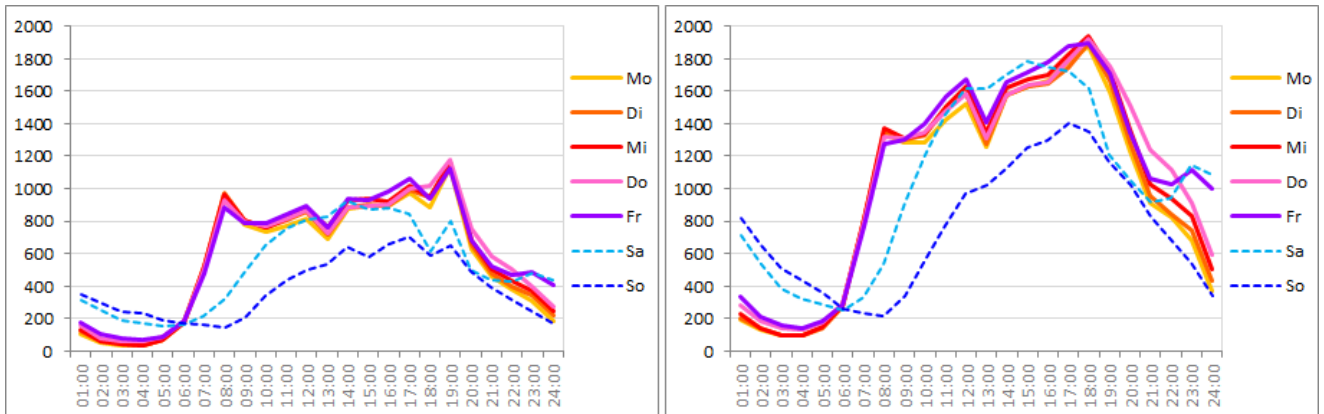


Abb. 46: SG Rorschacher Strasse / Singenberg und Unterer Graben - Anzahl Fahrzeuge pro Stunde - Unterteilt je Wochentag (Mittelwert 1.10.2012 bis 31.12.2013)

Die DTV Zahlen an den Arbeitstagen verlaufen fast deckungsgleich samt dem kleinen Einbruch während der Mittagspause. Am Freitag- und Samstagabend ist ein deutlicher Anstieg nach 20:00 ersichtlich, verursacht von Personen, die in den Abendausgang fahren. Am Samstag und vor allem am Sonntag ist der Anstieg der Fahrzeugzahlen deutlich später und die gesamte Anzahl tiefer.

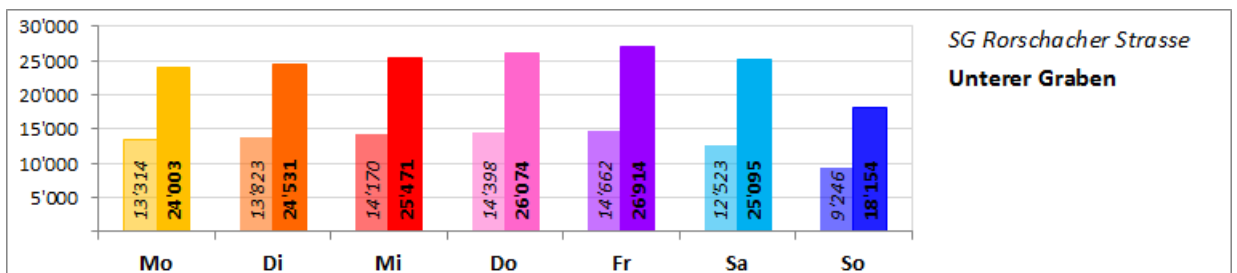


Abb. 47: SG Rorschacher Strasse / Singenberg und Unterer Graben - Anzahl Fahrzeuge pro Wochentag