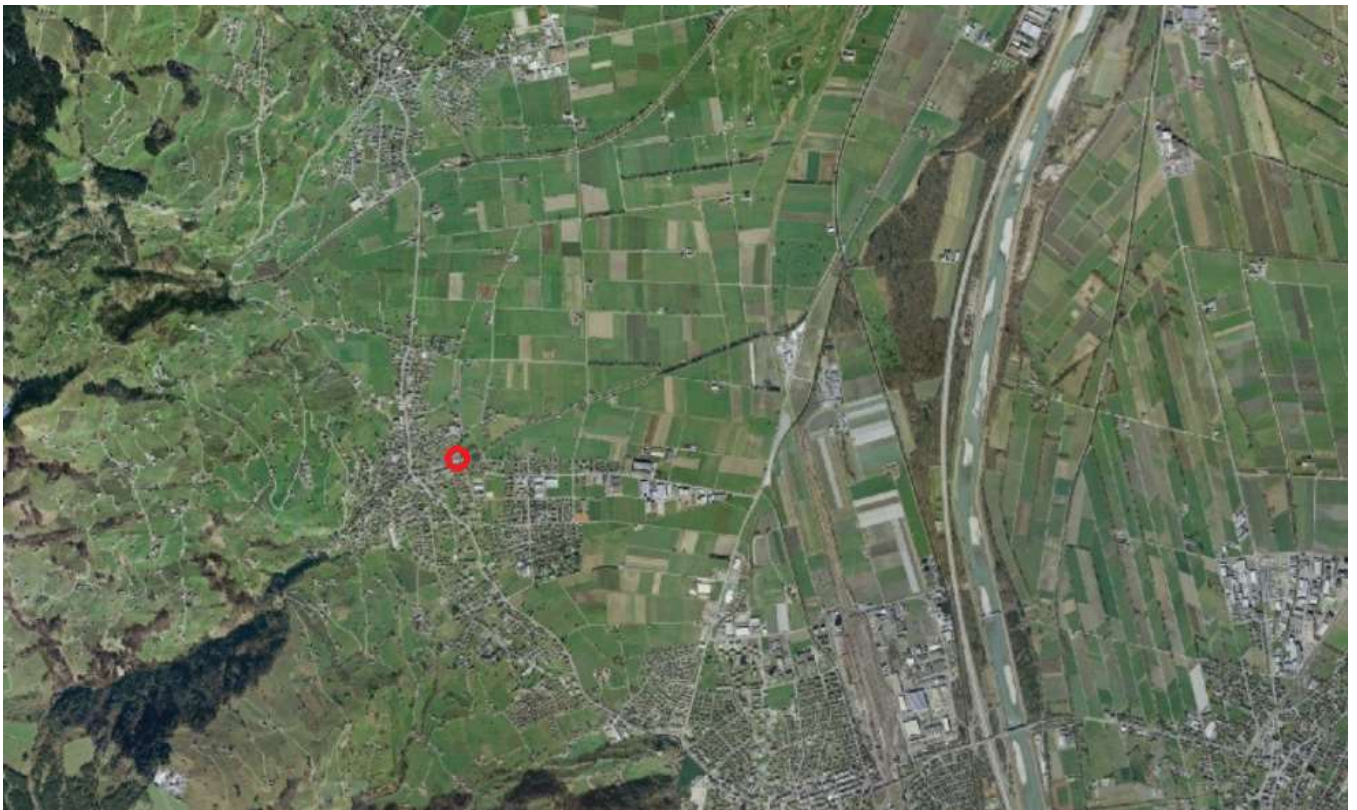


Immissionsmessungen in Grabs 2017-2019

Dorf mit Fernheizungsanschluss und hohem Anteil an Holzfeuerungen



Schlussbericht

Abkürzungsverzeichnis

BaP	Benzo(a)pyren
CO	Kohlenmonoxid
EC	Russ, Elementarer Kohlenstoff (elemental carbon)
EKL	Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL)
LRV	Eidgenössische Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142.1)
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm (Schadstoff) pro Kubikmeter (Luft)
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide (Summenparameter = NO ₂ + NO, bezogen auf NO ₂)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM10	Feinstaub Grössenklasse <10 μm
SMPS	Scanning mobility particle sizer

Impressum

Kurzbezeichnung:	Immissionsmessungen in Grab 2017 bis 2019, OSTLUFT, 2020
Herausgeber:	OSTLUFT – Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein
Projektteam:	Hanna Herich, Dominik Noger, Susanne Schlatter
Auswertungen:	Hanna Herich, Susanne Schlatter
Kontakt:	OSTLUFT, sekretariat@ostluft.ch
Titelbild:	Standort Grabs Marktplatz (roter Punkt), Kanton SG
Copyright:	© OSTLUFT, Abdruck mit Quellenangabe erwünscht

Bezug und weitere Informationen: Download pdf: www.ostluft.ch (eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Ziele	6
3	Methodik	6
3.1	Standortbeschreibung	6
3.2	Standortklassierung	7
3.3	Messparameter	8
4	Ergebnisse	8
4.1	Windsituation	8
4.2	Luftschadstoffe	10
4.2.1	Übersicht und Grenzwerte	10
4.2.2	Feinstaub PM10, Tagesgänge	11
4.2.3	Russ (EC), Tagesgänge und Quellen	12
4.2.4	Stickstoffdioxid (NO ₂), Tagesgänge	15
4.2.5	Kohlenmonoxid (CO)	16
4.2.6	Levoglukosan	17
4.2.7	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	18
4.3	Luftschadstoffe und Emissionsquellen	20
4.3.1	Schadstoffausbreitung	20
4.3.2	Feinstaub in SMPS-Partikelgrößenklassen	21
4.4	Jahresgang und Inversionen	22
	Anhang Jahresgänge	24

1 Zusammenfassung

Anfang der 2000er Jahre wurden in Grabs erste Luftqualitätsmessungen durchgeführt. Diese wiesen auf eine starke Belastung der Atemluft durch Abgase von Holzfeuerungen hin. Zwischen April 2017 und Dezember 2019 wurden erneute Messungen in Grabs durchgeführt. Die neuen Messungen zeigen, dass die Luftqualität in der Region Grabs heute im Jahresmittel ähnlich wie an vergleichbaren ländlichen Siedlungs- oder Hintergrundstandorten ist. Auffällig sind in Grabs aber auch heute noch die Schadstoffkonzentrationen im Winter. Dann steigt insbesondere die Konzentration von kanzerogenem Russ aufgrund der Emissionen aus Holzfeuerungen und einer lagebedingt schlechten Durchlüftung überdurchschnittlich stark an.

Das Dorf Grabs liegt in einer schwach durchlüfteten Ausbuchtung des Rheintals und hat einen hohen Anteil an kleinen Holzfeuerungen. In den Jahren 2000-2009 wurden bereits Immissionsmessungen in Grabs durchgeführt. Die Resultate zeigten deutlich den Einfluss von Holzfeuerungsmissionen auf die Luftbelastung. Seit 2013 ist das Dorf an ein Fernwärmenetz angeschlossen, das stetig ausgebaut wird. Dadurch wurden vier grössere Schnitzelfeuerungen ausser Betrieb genommen. Die Anzahl der kleinen Holzfeuerungen hat in den letzten Jahren jedoch kaum abgenommen.

Grenzwerte im Jahresmittel klar eingehalten

Die Jahresmittel-Grenzwerte wurden in Grabs für NO₂, PM10 und CO, wie bereits in der Messperiode vor 2019, klar eingehalten. Die Belastung durch Feinstaub PM2.5 bewegt sich rund um den Grenzwert. Ozon überschreitet während der Sommermonate in Grabs die Grenzwerte. Im Vergleich zu anderen ländlichen Ostschweizer Siedlungsstandorten ist die Belastung in Grabs damit vergleichbar.

Schlechte Durchlüftung sorgt für höchste Belastungen im Winter

Auffällig ist in Grabs der grosse Unterschied der Belastungen im Jahresverlauf. Besonders für Schadstoffe wie Russ (EC) oder feinste Partikel sind im Winter massive Anstiege zu beobachten. Analysen zeigen, dass etwa zwei Drittel der winterlichen Russpartikel aus Holzfeuerungen stammen. Während einzelner Wintermonate sind die mittleren Russkonzentrationen in Grabs höher als in der Stadt Zürich oder an Autobahnstandorten im OSTLUFT-Gebiet.

In Grabs wurde auch der Gehalt von zehn verschiedenen PAK im Feinstaub bestimmt. Den Hauptbeitrag zur Toxizität lieferte das kanzerogene Benzo(a)pyren, welches mehrheitlich durch Holzfeuerungen emittiert wird. Der EU-Zielwert wurde zwar unterschritten, die Belastung ist im Verhältnis zu anderen Schweizer Standorten jedoch massiv erhöht. Ähnliche Konzentrationen wurden schweizweit bisher nur in ebenfalls schlecht durchlüfteten Gebieten im Misox und Muotathal gemessen.

Die Konzentrationen von EC und Benzo(a)pyren sind in Grabs, wie in der gesamten Schweiz, in den letzten Jahren gesunken. Dies ist auch auf allgemeine Massnahmen (besserer Stand der Technik, Dieselpartikelfilter, usw.) zurückzuführen. Der Rückgang in Grabs war im Verhältnis zu anderen Standorten nicht überproportional stark. Ob die Erschliessung des Ortes durch Fernwärme einen Einfluss hat, ist noch nicht aus den Messungen ersichtlich.

Die Auswertung der Winddaten zeigt, dass die Durchlüftung in Grabs insbesondere im Winter im Vergleich zu anderen naheliegenden OSTLUFT Messstandorten wie Vaduz oder Chur vermindert ist. Dies führt dazu, dass sich die Schadstoffe anreichern. Ähnliche Verhältnisse wie in Grabs können an anderen ländlichen Standorten auftreten, wenn die Durchlüftung infolge topografischer Gegebenheiten eingeschränkt ist.

2 Ziele

Das obere Rheintal ist dicht besiedelt und durch eine Autobahn erschlossen. Die ausgeprägte U-Form des Tals mit beidseitig steilen Flanken und einer Talebene (Breite zwischen 3 km auf Höhe Vaduz und 7-8 km auf Höhe Grabs) prägt die Ausbreitungs- und Belastungssituation für Luftschadstoffe. Bei den Messungen in Grabs standen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie ist die lufthygienische Situation in Grabs, stellvertretend für ein Dorf mit einem hohen Holzfeuerungsanteil? Wie hat sich die Luftqualität im Vergleich zu früheren Messungen in Grabs (2000-2009) verändert? Wie ist der Einfluss der teilweisen Erschliessung des Ortes durch Fernwärme, Vorher-/Nachhersituation?
- Wie weit unterscheidet sich die Situation in winterlichen Belastungsphasen von derjenigen an der nahegelegenen OSTLUFT Station Vaduz Landesbibliothek?

3 Methodik

3.1 Standortbeschreibung

Die Position des Messcontainers in Grabs befand sich innerhalb des Dorfkerns am Marktplatz auf dem Gelände des Werkhofs (siehe Abb.1). Die Station wurde von April 2017 bis Ende 2019 betrieben. Auch die früheren Messungen in Grabs (2000-2009) fanden auf dem Gelände des Werkhofs statt.



Abb. 1: Standort Grabs

Grabs liegt in einer schwach durchlüfteten Ausbuchtung im Westen des Rheintals. Nur ca. 8 km entfernt befindet sich die OSTLUFT-Messstation Vaduz Landesbibliothek, die nachfolgend für Vergleiche herangezogen wird. Die Messungen in Vaduz wurden bis 2014 an einem anderen Standort, Vaduz


















Austrasse, durchgeführt. Abb. 2 zeigt einen Landkartenausschnitt mit den drei Standorten. Im Weiteren ist das Gebiet eingezeichnet, in welchem Temperatursensoren zur Erfassung von bodennahen Inversionswetterlagen eingesetzt wurden.



Abb. 2: Übersichtskarte Grabs im Rheintal, Messstandort in Rot: Kreis „Grabs Marktplatz“, Raute „Vaduz Landesbibliothek“, Dreieck „Vaduz Austrasse“. Fläche in Magenta: Gebiet in dem sechs Sensoren zur Erfassung der Temperatur eingesetzt wurden.

3.2 Standortklassierung

In der OSTLUFT Standortklassierung entsprechen die betrachteten Messstationen den Kategorien in Tab. 1.

Standort	m ü.M.	Standorttyp
Grabs, Marktplatz	469	  
Vaduz, Austrasse (FL)	459	  
Vaduz, Landesbibliothek (FL)	455	   
Altstätten, Rorschacherstrasse	451	  
Chur, A13	565	  
Zürich, Stampfenbachstrasse	445	  

Rand des Rheintals nur zwei Hauptwindrichtungen auf und die Windgeschwindigkeiten liegen häufig bei mehr als 2 m/s. Grabs liegt in einer Ausbuchtung des Rheintals und wird daher weniger gut durchlüftet als Vaduz. Die Hauptwindrichtungen sind kaum ausgeprägt (im Gegensatz zur Talmitte) und die Windgeschwindigkeiten mit meist weniger als 2 m/s nur gering.

Abb.4 (links) zeigt die Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit am Standort Grabs Marktplatz. Nachts weht der Wind meist aus Südwest und resultiert aus den Talabwinden. Tagsüber weht der Wind aus Norden. Die Windrichtungen wurden separat für Sommer und Winter analysiert. Der jahreszeitbedingte Unterschied im Tagesverlauf ist dabei gering: Im Winter ist der Tagesverlauf etwas schwächer ausgeprägt und es gibt eine leichte zeitliche Verschiebung (Nordwind von 10-15 Uhr statt wie im Sommer von 6-16 Uhr). In Abb. 4 (rechts) ist die Auftrittshäufigkeit der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Tageszeit dargestellt. Nachts treten die niedrigsten (meist unter 0.5 m/s) und tagsüber die höchsten Windgeschwindigkeiten (0.5 - 2 m/s) auf. Im Sommer tritt nachmittags/abends stärkerer Wind auf.

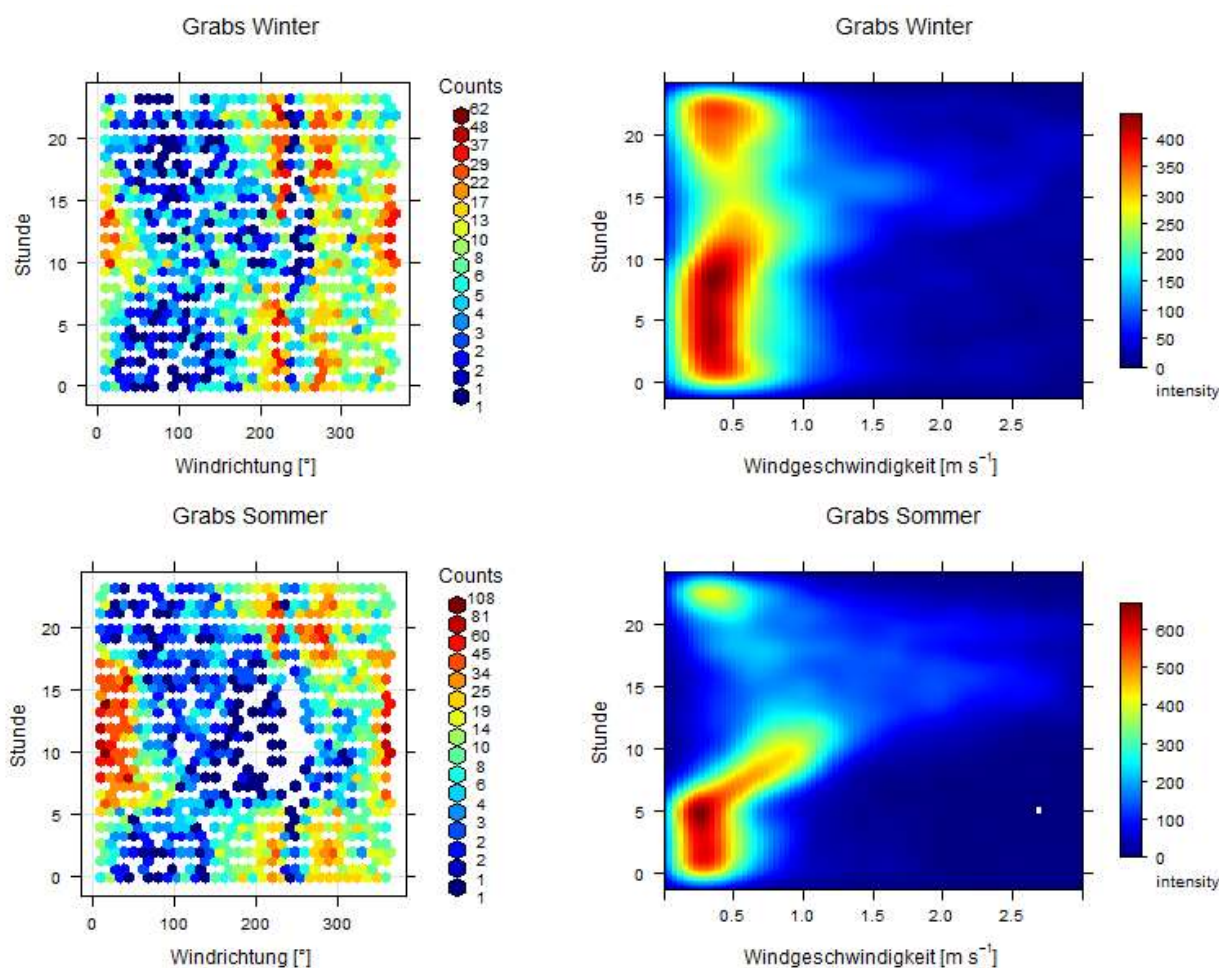


Abb. 4: Links: Durchschnittliche Auftretshäufigkeit der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Tageszeit, Winter (**oben**) und Sommer (**unten**). **Rechts:** Durchschnittliche Auftretshäufigkeit der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit (farbkodiert interpolierte Intensität der Messdatenpunkte), Winter (**oben**) und Sommer (**unten**).

4.2 Luftschadstoffe

4.2.1 Übersicht und Grenzwerte

Abb. 5 zeigt die Jahresmittelwerte für 2017-2019 von NO₂, Feinstaub PM10 und PM2.5, CO, Russ EC2.5 (elemental carbon) und Ozon an den Messstationen in Grabs. Für NO₂, PM10, PM2.5 und CO liegen Immissionsgrenzwerte gemäss LRV vor. Die NO₂ Konzentrationen liegen mit 11-13 µg/m³ deutlich unter dem Jahresmittelgrenzwert von 30 µg/m. Die PM10 Konzentrationen liegen mit 11- 14 µg/m³ ebenfalls deutlich unter dem Grenzwert von 20 µg/m³ im Jahresmittel. Für PM2.5 bewegen sich die Belastungen in der Grössenordnung des Jahresmittelgrenzwerts von 10 µg/ m³, 2018 lagen die Konzentrationen mit 11 µg/ m³ über dem Grenzwert. Die Russbelastung ist mit 0.6-0.9 µg/m³ deutlich höher als der Richtwert der EKL von 0.1 µg/m³. Der Jahresmittelwert für CO lag 2019 bei 0.25 µg/m³.

Weitere Immissionsgrenzwerte gemäss LRV für 24h-Mittelwerte (dürfen höchstens einmal pro Jahr überschritten werden) sind für NO₂: 80 µg/m³, PM10: 50 µg/m³ und CO: 8 mg/m³. Die Tagesmittelgrenzwerte für NO₂ und CO wurden im gesamten Messzeitraum eingehalten. Der Tagesmittelgrenzwert für PM10 wurde 2017 und 2019 eingehalten, 2018 gab es eine Überschreitung.

Für Ozon wurden maximale Stundenmittelwerte zwischen 162 und 181 µg/m³ gemessen. Der Stundenmittelgrenzwert von 120 µg/m³ wurde während 141 Stunden (2017), 297 Stunden (2018) und 219 Stunden (2019) überschritten.

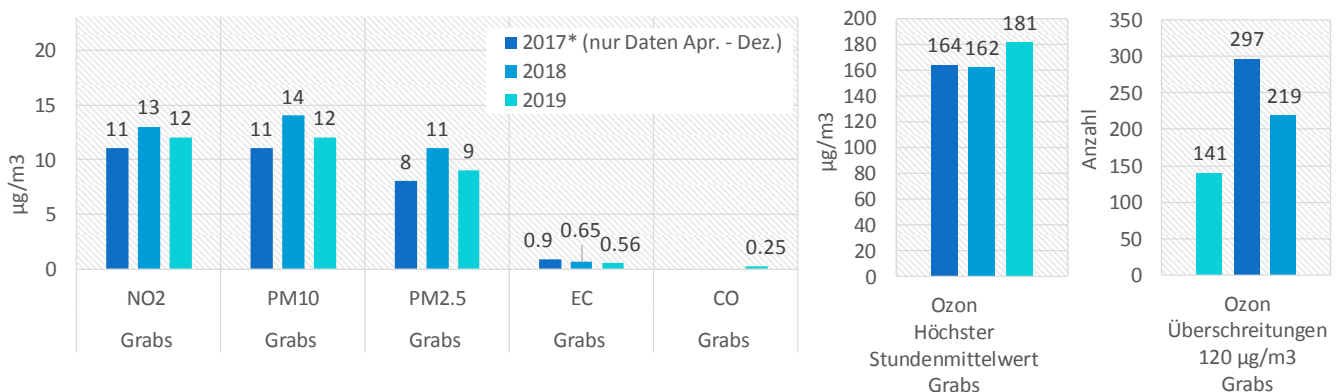


Abb. 5: Links: Jahresmittelwerte für NO₂, PM10, PM2.5, EC und CO in Grabs für die Jahre 2017-2019 (2017: Nur Daten April – Dezember). **Rechts:** Höchster Stundenmittelwert Ozon und Anzahl Stunden über dem Kurzzeitgrenzwert von 120 µg/m³ in Grabs.

In Abb. 6 sind die Jahresmittelwerte aus Grabs für NO₂, PM10 und EC im Vergleich zu weiteren Messorten im Rheintal, Vaduz Austrasse, Vaduz Landesbibliothek, Altstätten Rorschacherstrasse und Chur A13

dargestellt (für EC-Messungen wurden zudem Messdaten aus Opfikon Balsberg (gleicher Standorttyp wie Chur A13) in der Abbildung verwendet, vergl. Abschnitt 4.2.3). Die Daten sind nur bedingt vergleichbar, da nicht für alle Jahre und Standorte parallele Messungen vorliegen.

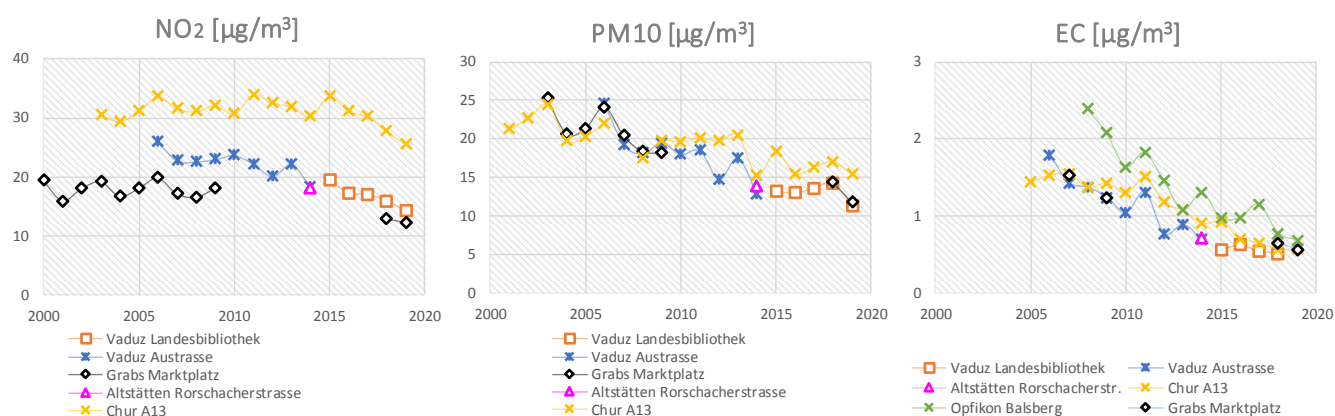


Abb. 6: Langjährige Reihen der Jahresmittelwerte (nur vollständige Messjahre) für NO₂, PM₁₀ und EC in Grabs, Vaduz, Chur, Altstätten und Opfikon soweit vorhanden (EC: teilweise unvollständige Messreihe).

Die NO₂ Belastungen in Grabs sind seit den 2000er Jahren um rund einen Drittel gesunken und lagen 2019 mit 12 µg/m³ deutlich tiefer als an den anderen, stärker verkehrsbelasteten Standorten im Rheintal. Auch die Feinstaubbelastungen für PM₁₀ sanken in den letzten 20 Jahren im Rheintal. Grundsätzlich stimmen die Messwerte in Grabs dabei seit Beginn der Messungen gut mit denen in Vaduz (beide Standorte) überein und passen auch zum Messwert aus Altstätten. Während das Feinstaubniveau Anfang der 2000er Jahr in Grabs und Vaduz noch ähnlich wie am Standort Chur A13 war, sind die Belastungen heute mit 12 µg/m³ rund ein Viertel tiefer.

Die EC Belastungen in Grabs bewegen sich, soweit Daten verfügbar sind, auf einem ähnlichen Niveau wie in Vaduz. In den letzten 14 Jahren sind die Immissionen an den drei hier betrachteten Standorten massiv gesunken, dieser Trend greift schweizweit, besonders seit Einführung der Dieselpartikelfilter. Am Autobahnstandort Opfikon Balsberg sanken die Konzentrationen um 75%, in Vaduz, Chur und Grabs um gut 50%. Damit sind die Belastungen an den Standorten in Vaduz, Grabs, Chur und Opfikon seit 2018 fast gleich hoch.

4.2.2 Feinstaub PM₁₀, Tagesgänge

Abb. 7 zeigt die Feinstaubkonzentrationen PM₁₀ am Standort Grabs Marktplatz für alle Jahreszeiten in verschiedener Zeitaufösung. Die Hintergrundbelastung liegt in Grabs bei rund 10 µg/m³. Je nach Jahreszeit und Uhrzeit nimmt die Feinstaubbelastung weiter zu: Im Winter bewegen sich die Konzentrationen zwischen 12 und 18 µg/m³ und liegen im Tagesmittel bei rund 15 µg/m³. Im Sommer schwanken die Konzentrationen zwischen 10 und 13 µg/m³, der Tagesmittelwert liegt bei rund 11 µg/m³. Die generellen

Konzentrationsunterschiede zwischen Sommer und Winter lassen sich durch die Grenzschichthöhe und das Auftreten von Inversionen erklären.

Die höchsten PM₁₀ Konzentrationen werden ganzjährig während der Hauptverkehrszeiten erreicht. Die nächtliche Abnahme lässt sich durch Berg- oder Hangabwinde und abendliche Kaltluftabflüsse von der westlichen Talflanke erklären, wie sie häufig in Tälern auftreten. Der Wochengang zeigt eine leichte Abnahme der Konzentrationen zum Wochenende, dann sind die Belastungen etwa 10% geringer als an Werktagen. Im Winter tritt die abendliche PM₁₀ Belastung erst nach 20 Uhr auf, wenn die Windgeschwindigkeiten gering sind.

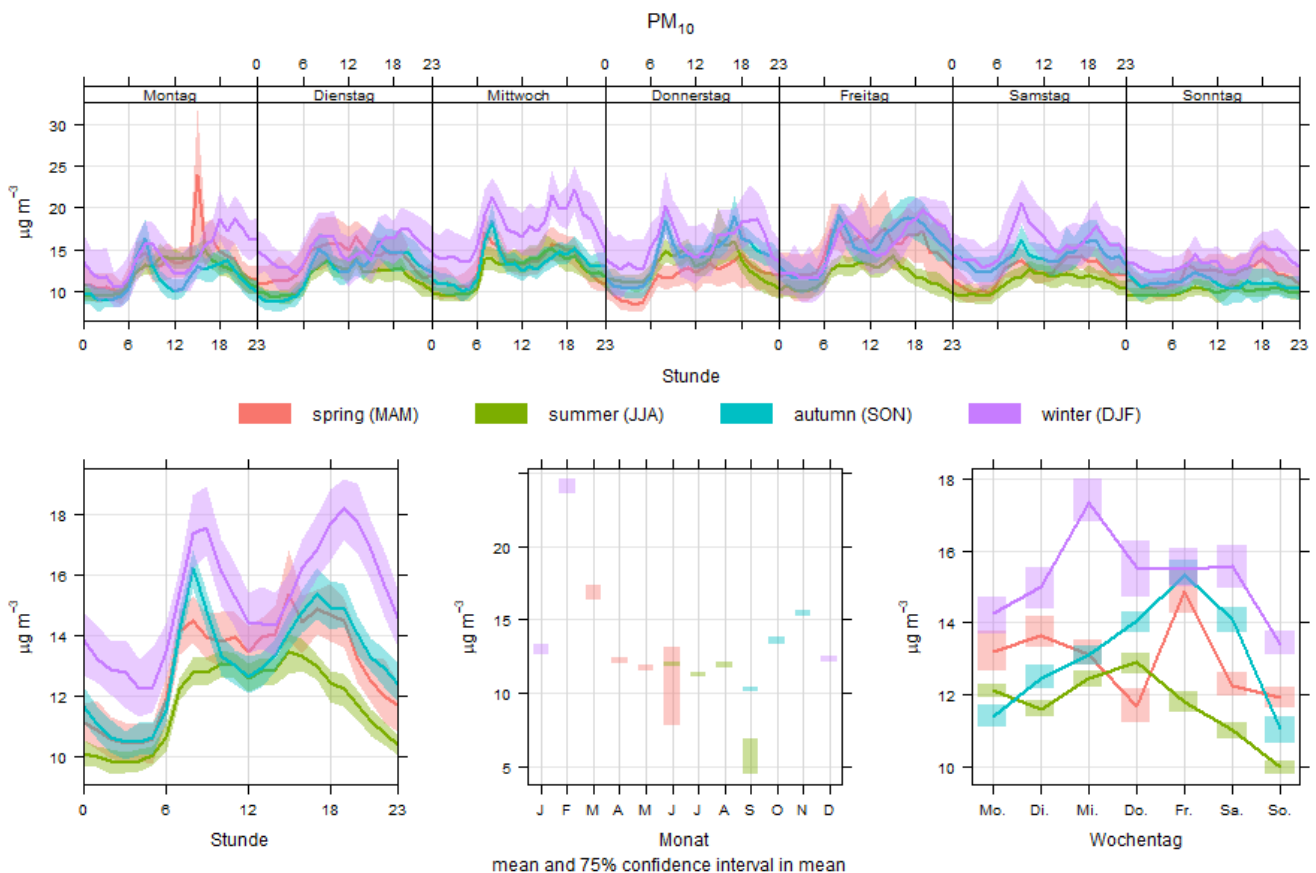


Abb. 7: Vergleich der PM₁₀-Belastung am Standort Grabs Marktplatz, mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahrgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts).

4.2.3 Russ (EC), Tagesgänge und Quellen

Als Russ wird der elementare Kohlenstoff (EC) in Feinstaub bezeichnet, dieser ist krebserregend (WHO, 2012). Die Hauptquellen für Russ sind das Verbrennen von Treibstoff (Verkehr) sowie Holzheizungen. Der Richtwert für Russ gemäss EKL liegt bei 0.1 µg/m³ im Jahresmittel.

In Grabs wurde ein Aethalometer zur kontinuierlichen Messung von Russ eingesetzt. Die Messdaten optischer Messverfahren (wie auch des Aethalometers) messen schwarzen Kohlenstoff (BC, black carbon)

und werden basierend auf parallelen EC-Vergleichsmessungen in EC umgerechnet. Dieses Verfahren hat sich schweizweit und international etabliert. In den nachfolgenden Abbildungen werden alle Russmessungen als EC bezeichnet.

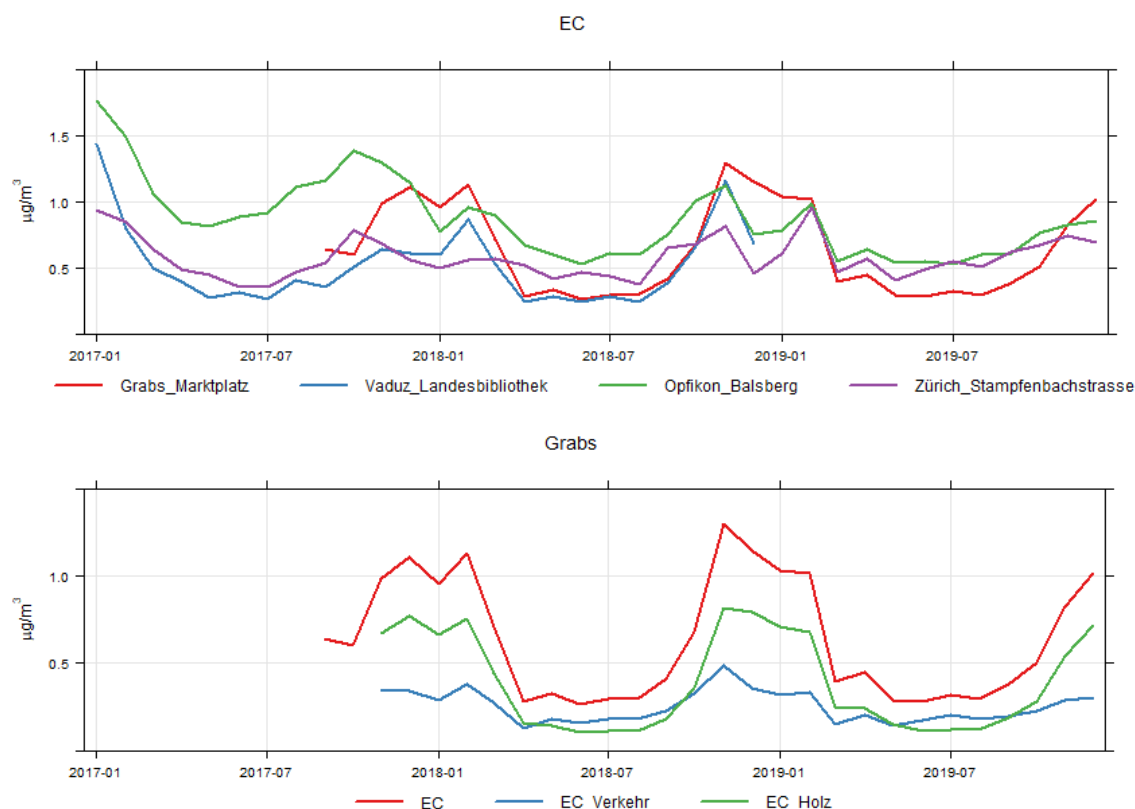


Abb. 9: Oben: Monatsmittel der EC-Konzentrationen in Grabs Marktplatz, Vaduz Landesbibliothek, Opfikon Balsberg und Zürich Stampfenbachstrasse. **Unten:** Monatsmittel der EC-Konzentrationen in Grabs, aufgeteilt nach Quellen (Gesamtes EC, EC Anteil Verkehr und EC Anteil Holz).

Aethalometer messen die Russbelastung parallel mit verschiedenen Wellenlängen (von nahem UV bis nahem Infrarot). Da Russ aus Holzfeuerungen und Dieselmotoren mit unterschiedlichen PAKs behaftet ist, absorbieren die Russpartikel dieser beiden Quellen je nach Wellenlänge unterschiedlich stark. Somit kann eine ungefähre Quellenzuordnung für EC (Holzfeuerungen versus Dieselmotoren) vorgenommen werden¹. Nachfolgend werden diese Russbeiträge als EC_{Holz} und EC_{Verkehr} bezeichnet.

Die Messungen aus Grabs werden nachfolgend mit anderen Standorten verglichen: Für die Station Vaduz Landesbibliothek liegen EC Messungen (bestimmt anhand von HiVol PM10 Filtern) gemäss

¹ Quellenzuordnung analog zu: Zotter, et al. (2017). Evaluation of the absorption Ångström exponents for traffic and wood burning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol. Atmospheric Chemistry and Physics, 17(6), 4229-4249.

<https://doi.org/10.5194/acp-17-4229-2017>

Stichprobenkonzept (jeden zwölften Tag) vor sowie EC Mittelwerte über mehrere Stunden (Betastaubmeter, PM10), jedoch keine kontinuierlichen Messwerte zur Darstellung von Tagesverläufen. Für die Station Opfikon Balsberg liegen kontinuierliche EC Messungen vor (MAAP Messgerät, PM2.5), diese erlauben jedoch keine Quellenaufteilung. Für Zürich Stampfenbachstrasse liegen bis 2019 Messungen mit Betastaubmetern (PM10) vor.

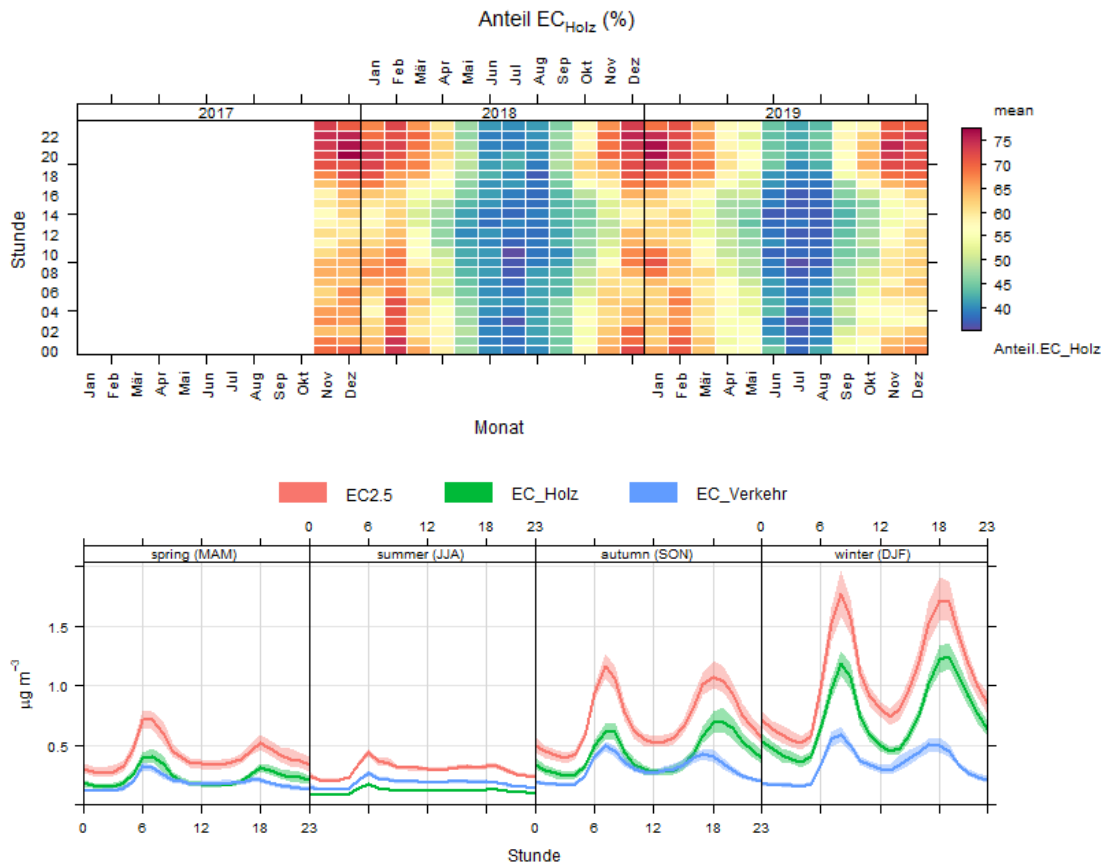


Abb. 10: Oben: Mittlerer Beitrag von EC_{Holz} zur EC-Konzentration in Abhängigkeit von der Jahres- und Uhrzeit. **Unten:** Tagesgänge der EC-Konzentrationen in Grabs (gesamtes EC, EC Anteil Holz und EC Anteil Verkehr) nach Jahreszeit.

Abb. 9 (oben) zeigt die EC Belastung als Monatsmittel in Grabs im Vergleich zu Vaduz Landesbibliothek, Opfikon Balsberg und Zürich Stampfenbachstrasse². Der Autobahnstandort in Opfikon repräsentiert dabei einen ausschliesslich durch Verkehr geprägten Standort (vergl. Abb. 6). Der Standort Vaduz repräsentiert einen dörflichen Hintergrund im Rheintal und der Standort Zürich Stampfenbachstrasse einen Stadtstandort. Alle vier Standorte zeigen zunächst einen ausgeprägten Jahresgang mit höchsten Konzentrationen im

² Quellenzuordnung: Die EC Konzentration in den Grössenfraktionen PM2.5 und PM10 ist nicht identisch, aber an Strassenstandorten sehr ähnlich. In Bezug auf den Stationsvergleich in Abb. 9 (oben) wird auf eine Umrechnung/Korrektur verzichtet, da sich die Werte kaum verändern würden und die Aussagen gleichbleiben.

Winter und tiefen Konzentrationen im Sommer, dies lässt sich wie beim Feinstaub durch die unterschiedliche Grenzschichthöhe und Inversionen erklären. Im Sommer sind die Konzentrationen an den Standorten Grabs und Vaduz nahezu identisch und nur halb so hoch wie am Autobahnstandort Opfikon Balsberg sowie deutlich tiefer als in Zürich Stampfenbachstrasse. Im Winter liegen die Belastungen in Grabs hingegen deutlich höher als in Vaduz und übertreffen sogar häufig den Autobahnstandort in Opfikon und die Belastungen in Zürich. Dies zeigt deutlich, dass in Grabs im Winter die Holzfeuerungen die Hauptquelle für Russ sind. Abb. 9 (unten) zeigt den Monatsgang der Russanteile aus dem Verkehr und der Holzverbrennung. Im Winter stammen rund zwei Drittel des Russes aus den Holzfeuerungen.

In Abb. 10 (oben) ist der mittlere Anteil von Russ aus Holzfeuerungen in Grabs in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit dargestellt. Im Winter wird die Mehrheit des Russes aus Holzverbrennungen emittiert, abends beträgt der Anteil durchschnittlich mehr als 75%. Im Sommer liegt der Anteil des Russes aus Holzverbrennungen um 40%. Die absoluten EC Belastungen als mittlerer Tagesgang nach Jahreszeit sind in Abb. 10 (unten) dargestellt. Die Konzentrationen von EC_{Holz} und EC_{Verkehr} sind im Winter deutlich höher als im Sommer (Gründe sind Grenzschichthöhe, Inversionen, s.o.). Die Belastung durch EC_{Holz} steigt aber im Vergleich zum EC_{Verkehr} überproportional stark an, das verdeutlicht erneut den zusätzlichen Anteil der Holzfeuerungen im Winter.

Der Tagesgang von EC_{Holz} und EC_{Verkehr} mit Peaks am Morgen und am Abend ist ähnlich, aber etwas zeitversetzt. Während EC_{Verkehr} am Abend eher vor 18 Uhr ansteigt, treten die höchsten Konzentrationen von EC_{Holz} erst am späteren Abend auf. Über den gesamten Messzeitraum lag der Beitrag der Holzfeuerungen zur EC-Belastung bei 66% im Winter und 39% im Sommer. Der Verkehrsbeitrag lag bei 34% respektive 61%, siehe Abb. 11.

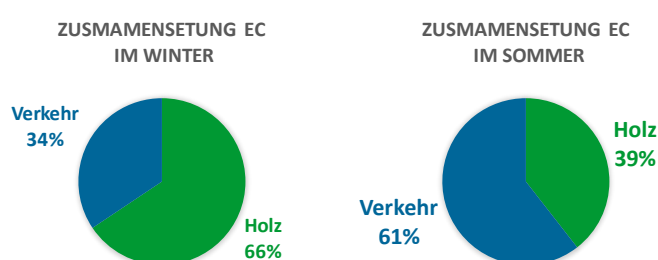


Abb. 11: Durchschnittlicher Beitrag der Quellen Holz und Verkehr zur EC-Konzentration in Grabs im Winter und Sommer.

4.2.4 Stickstoffdioxid (NO₂), Tagesgänge

In Abb. 12 sind die NO₂-Konzentrationen in Grabs Marktplatz in verschiedenen Zeitauflösungen dargestellt. Ganzjährig ist der stark verkehrsabhängige Tagesverlauf mit den höchsten Konzentrationen während der Hauptverkehrszeiten erkennbar. Die Konzentrationen folgen dabei einem Wochengang, am Wochenende

sind die Konzentrationen deutlich geringer als an Werktagen. Im Monatsmittel bewegen sich die NO₂ Konzentrationen zwischen 6-9 µg/m³ im Sommer und 20-25 µg/m³ im Winter. Die Tageshöchstwerte liegen während der Hauptverkehrszeiten durchschnittlich bei 13 µg/m³ im Sommer und 27 µg/m³ im Winter. Im Sommer ist der morgendliche Hauptverkehrspeak am stärksten ausgeprägt, im Winter hingegen der abendliche Hauptverkehrspeak. Grund dafür sind die Windgeschwindigkeiten (vergl. Abb. 4). Im Sommer ist das Tal abends besser durchlüftet als im Winter.

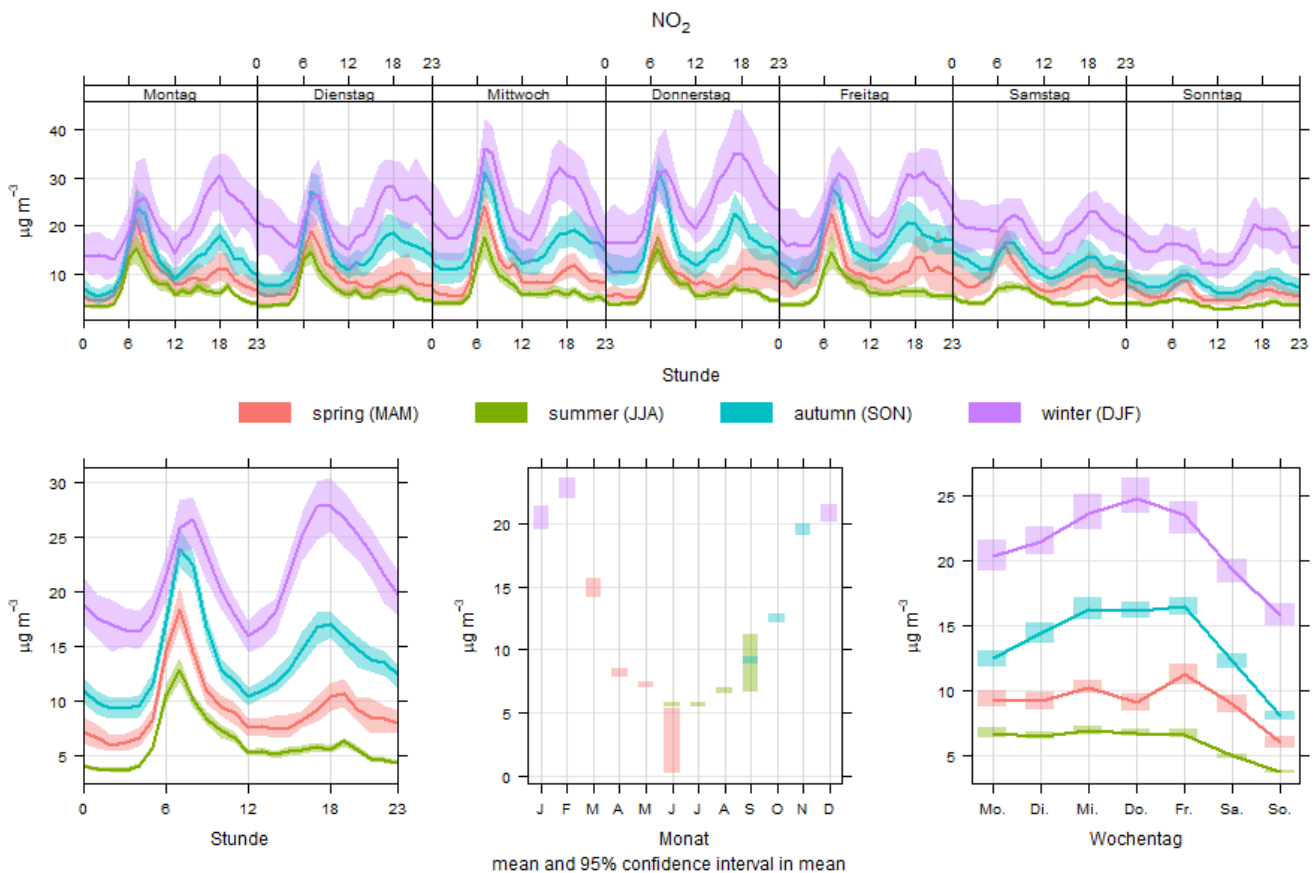


Abb. 12: Vergleich der Stickstoffdioxidbelastung in Grabs Marktplatz. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts).

4.2.5 Kohlenmonoxid (CO)

Die CO-Emissionen in der Schweiz haben in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen (technische Fortschritte, Katalysatoren usw.), heute kommen schweizweit keine Überschreitungen des Jahresmittel-Grenzwertes von 8 µg/m³ mehr vor. Die Hauptquellen von CO sind sowohl der Strassenverkehr als auch Feuerungsanlagen. Entsprechend ähnelt der Tages- und Wochengang eher dem von EC als dem von NO₂, siehe Abb. 13. Im Tagesgang tritt der abendliche Konzentrationsanstieg von CO deutlich später und länger auf, als zur Hauptverkehrszeit (vergl. NO₂). Zudem ist der Wochengang deutlich schwächer ausgeprägt.

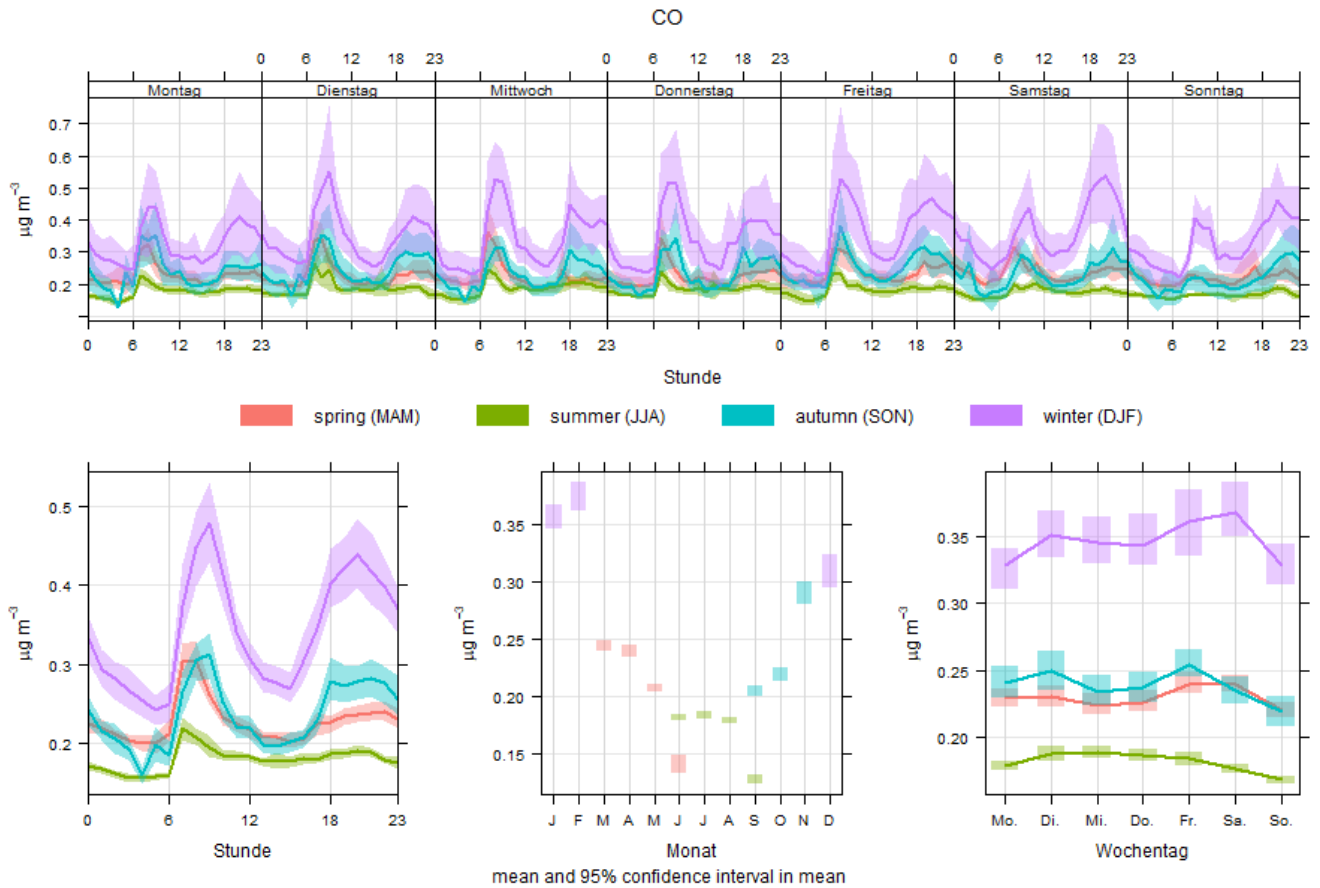


Abb. 13: Vergleich der CO Belastung in Grabs Marktplatz. Mittlerer Wochengang in Stundenaufösung (oben), Tagesgang (unten links), Jahresgang (unten Mitte) und Wochengang in Tagesaufösung (unten rechts). Für die Abbildung wurden nur Daten des Jahres 2019 verwendet, da keine vollständigen CO-Messdaten für 2017-2018 vorliegen.

4.2.6 Levoglukosan

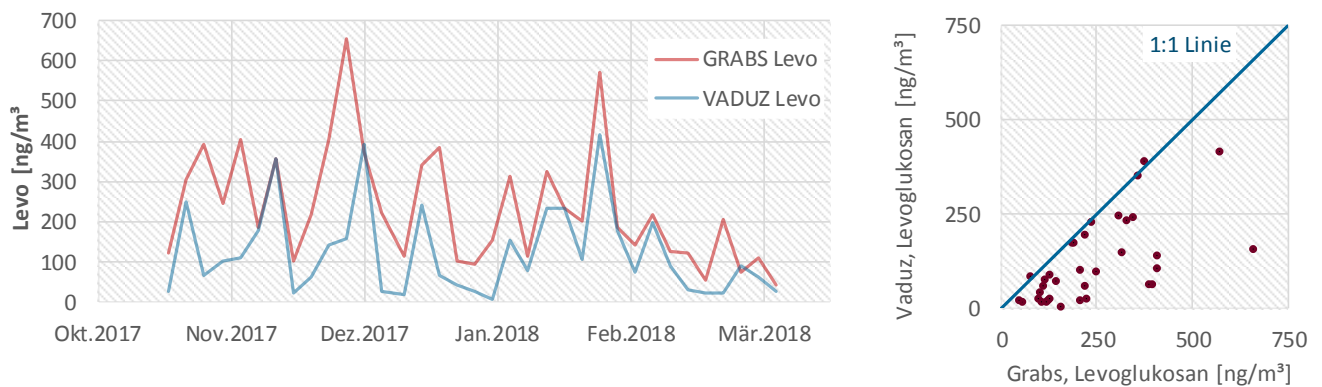


Abb. 14: Vergleich der Levoglukosan Belastung in Grabs und Vaduz im Winter 2017/18 als Zeitreihe und Streuplot.

Levoglukosan ist eine Substanz, die bei der Verbrennung von Zellulose freigesetzt wird. Die Konzentration von Levoglukosan im Feinstaub ist daher ein Marker für Emissionen aus Holzverbrennungsprozessen. Für die Standorte Grabs und Vaduz wurden HiVol Filter aus dem Winter 2017/18 auf Levoglukosan analysiert. In Abb. 14 ist die Levoglukosanbelastung an den beiden Standorten dargestellt. Der Standort Grabs weist deutlich höhere Konzentrationen als der Standort Vaduz auf, was den hohen Anteil an Emissionen aus der Holzverbrennung bestätigt.

Für Grabs werden die Levoglukosankonzentrationen mit den EC Konzentrationen verglichen. Idealerweise sollte eine Korrelation zwischen Levoglukosan und EC_{Holz} bestehen, jedoch keine Korrelation für Levoglukosan und EC_{Verkehr} vorliegen. Wie Abb. 15 zeigt, ist eine gute Korrelation für Levoglukosan und EC_{Holz} in Grabs gegeben, das Bestimmtheitsmass liegt bei $R^2=0.68$. Levoglukosan und EC_{Verkehr} sind kaum korreliert.

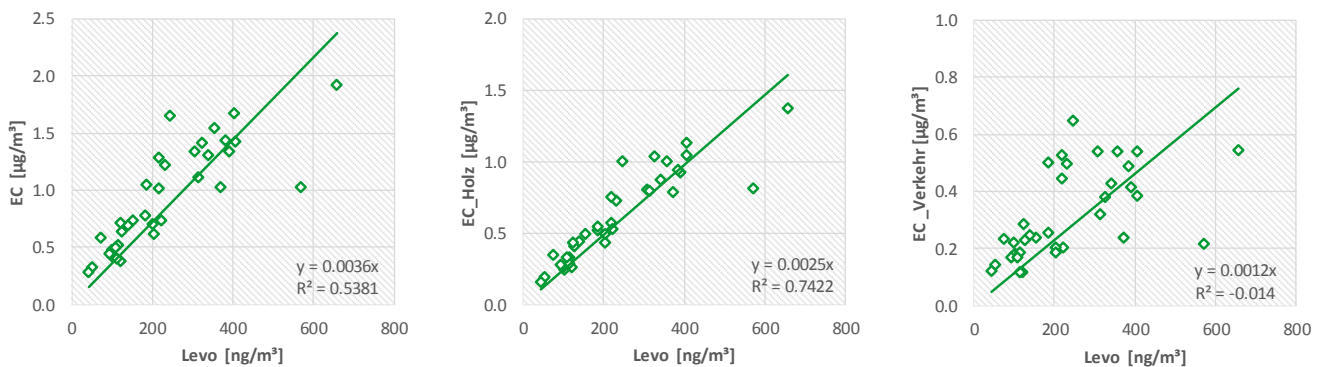


Abb. 15: Lineare Regression zwischen der Levoglukosan Belastung in Grabs mit EC, EC_{Holz} und EC_{Verkehr} .

4.2.7 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischen Materialien (z.B. Holz, Treibstoffe etc.). Zahlreiche PAK sind nachweislich krebserregend. In der Schweiz gibt es für karzinogene Substanzen keine Immissionsgrenzwerte, es gilt das Minimierungsgebot. Für das krebserregende Benzo(a)pyren (BaP) im PM10 liegt gemäss EU-Kommission 2004 ein Zielwert von 1 ng/m^3 vor. Am Standort Grabs wurde der Gehalt von zehn verschiedenen PAK im Feinstaub (PM10) bestimmt. Die Analyse wurde analog zu den PAK Messungen des NABEL (EMPA, PAK Bericht 2019) durchgeführt. Es wurden die gleichen PAK gemessen und die Konzentrationen wurden ebenfalls als Quartalsmittelwert bestimmt.

Abb. 16 zeigt die relativen Beiträge einzelner PAK zum PM10 für Grabs sowie an anderen Schweizer Standorten (Daten aus PAK-Bericht 2018, Empa). Die Zusammensetzung am Standort Grabs, mit eher weniger Fluoranthen und Pyren sowie mehr Benzo(a)pyren, ähnelt denen an Holzfeuerungsbeeinflussten Südschweizer Standorten wie San Vittore und Magadino als den städtischen/dörflichen Standorten im

Mittelland (Zürich, Tänikon, Dübendorf). Benzo(a)pyren ist an allen Messorten für mindestens 60% der Toxizität der PAK im Feinstaub verantwortlich.

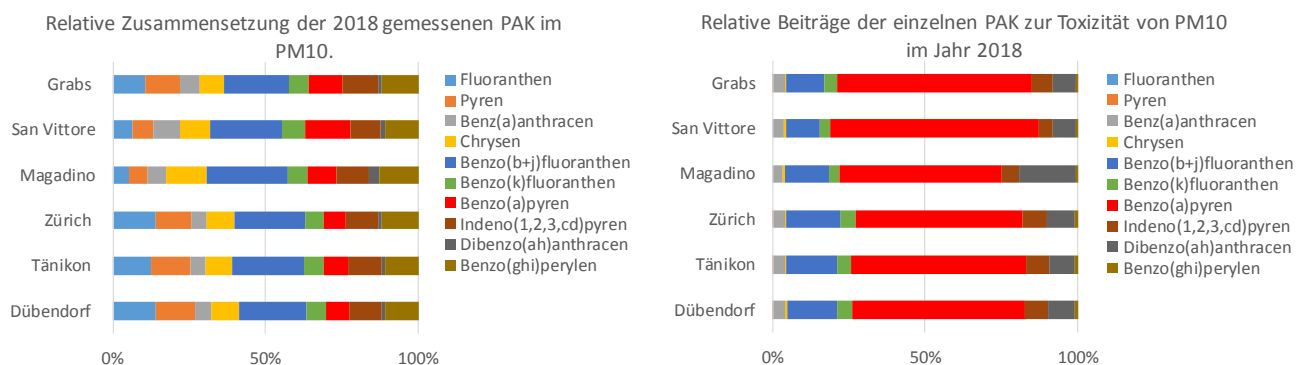


Abb. 16: Relative PAK Zusammensetzung und relative Toxizität der PAK in Grabs und an verschiedenen ANU/NABEL-Standorten (Empa, PAK Messbericht 2018).

Abb. 17 zeigt die Jahresmittelwerte von B(a)P an verschiedenen Schweizer Standorten und Grabs (GRA) (Grafik entnommen aus Empa, PAK Messbericht, 2018). Die absoluten B(a)P Konzentrationen sind an allen Messstandorten in den letzten zehn Jahren gesunken und lagen 2018 unter dem Zielwert der EU. In Grabs ist die B(a)P Belastung ebenfalls gesunken. Sie ist aber im Vergleich zu anderen Schweizer Standorten stark erhöht, nur der Standort San Vittore im Misox weist höhere Konzentrationen auf. Schweizweit wurden ähnliche Konzentrationen sonst nur noch im Muotathal gemessen (innet Umweltmonitoring, 2011 und 2018).

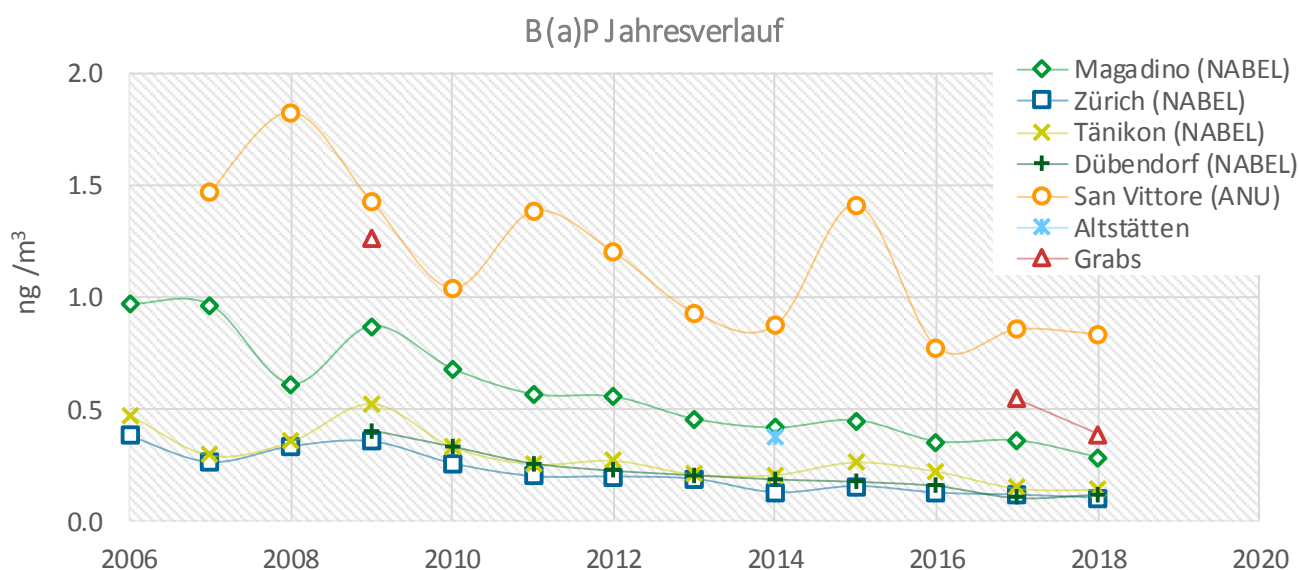


Abb. 17: Jahresmittelwerte 2006 bis 2018 der Konzentration von Benzo(a)pyren in Grabs und an verschiedenen Schweizer Standorten (Daten entnommen aus: Empa PAK Messbericht, 2018).

4.3 Luftschadstoffe und Emissionsquellen

4.3.1 Schadstoffausbreitung

Abb. 18 zeigt die zuvor betrachteten Luftschadstoffe am Standort Grabs in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung im Windrosenformat. Während für NO_2 und EC die Hauptquellen im Dorfzentrum liegen (umliegendes Wohngebiet und für NO_2 auch benachbarte Strassen), gibt es für O_3 vor allem hohe Konzentrationen, wenn die Luftmassen aus dem Umland herbeiverfrachtet werden, vor allem aus Osten und Süden (Föhn). Hohe PM_{10} Werte entstehen im geringen Ausmass einerseits durch lokale Quellen, andererseits wird langlebiger Feinstaub weit herbei transportiert, wenn der Wind aus Nordost weht. Hinweis: Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten in Grabs bei Föhnepisoden (Wind aus Südost) auf.

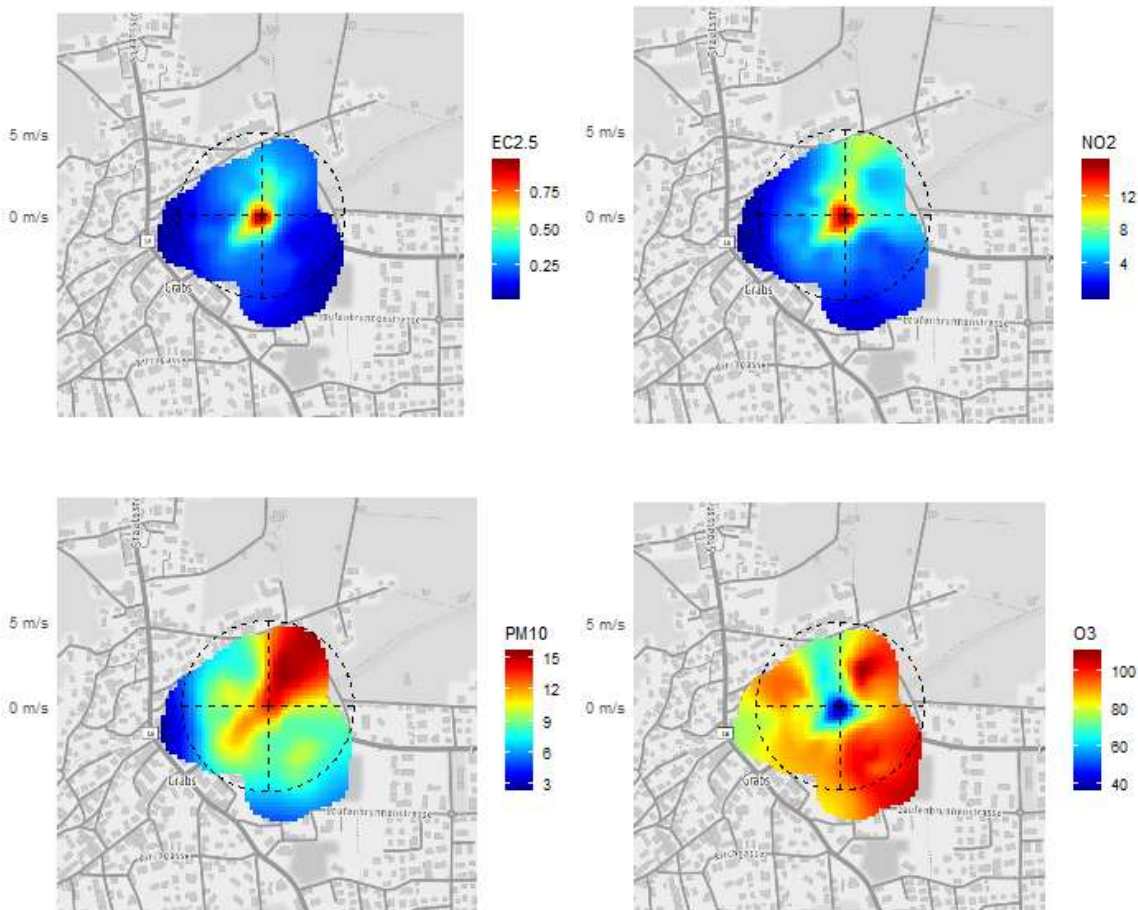


Abb. 18: Verschiedene Luftschadstoffkonzentrationen (mittlere 1h Mittelwerte, farbkodiert) am Standort Grabs in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung. Im Zentrum der Windrose entspricht die Windgeschwindigkeit Null.

4.3.2 Feinstaub in SMPS-Partikelgrößenklassen

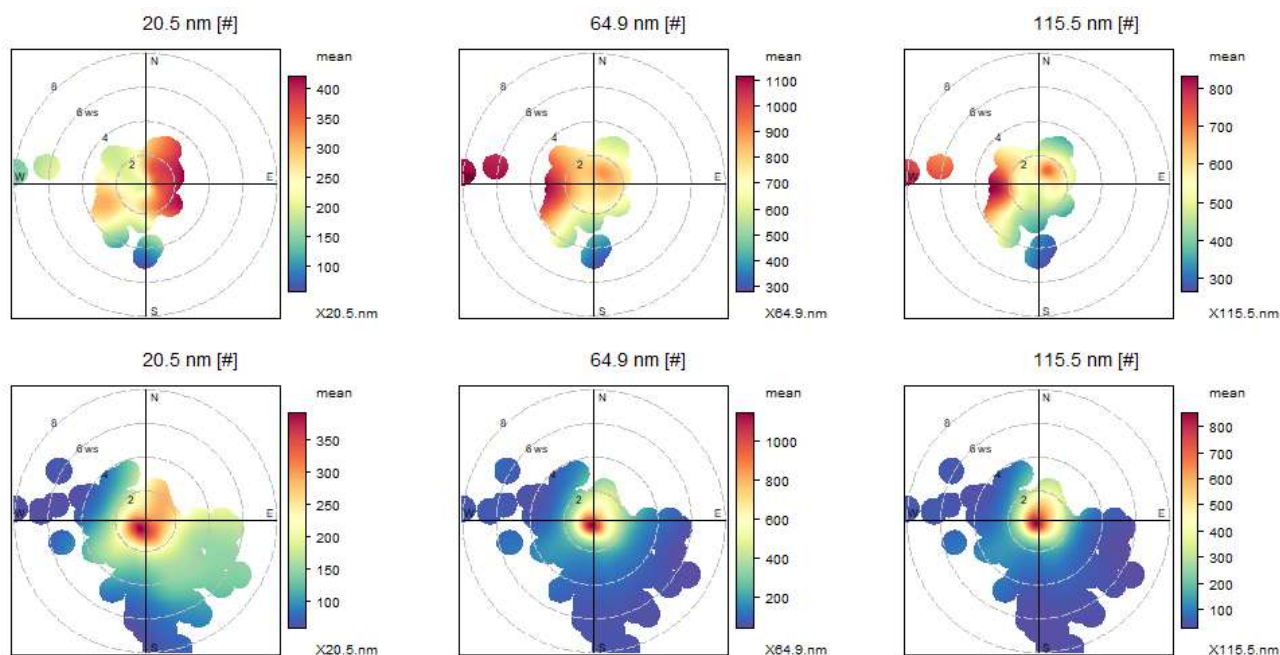


Abb. 19: Konzentrationen in drei Partikelgrößenklassen (mittlere 1h Mittelwerte, farbkodiert) am Standort Grabs in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung. Obere Reihe: Messwerte Aug./Sep. 2019, untere Reihe: Messwerte Nov./Dez. 2019. Im Zentrum der Windrose entspricht die Windgeschwindigkeit Null.

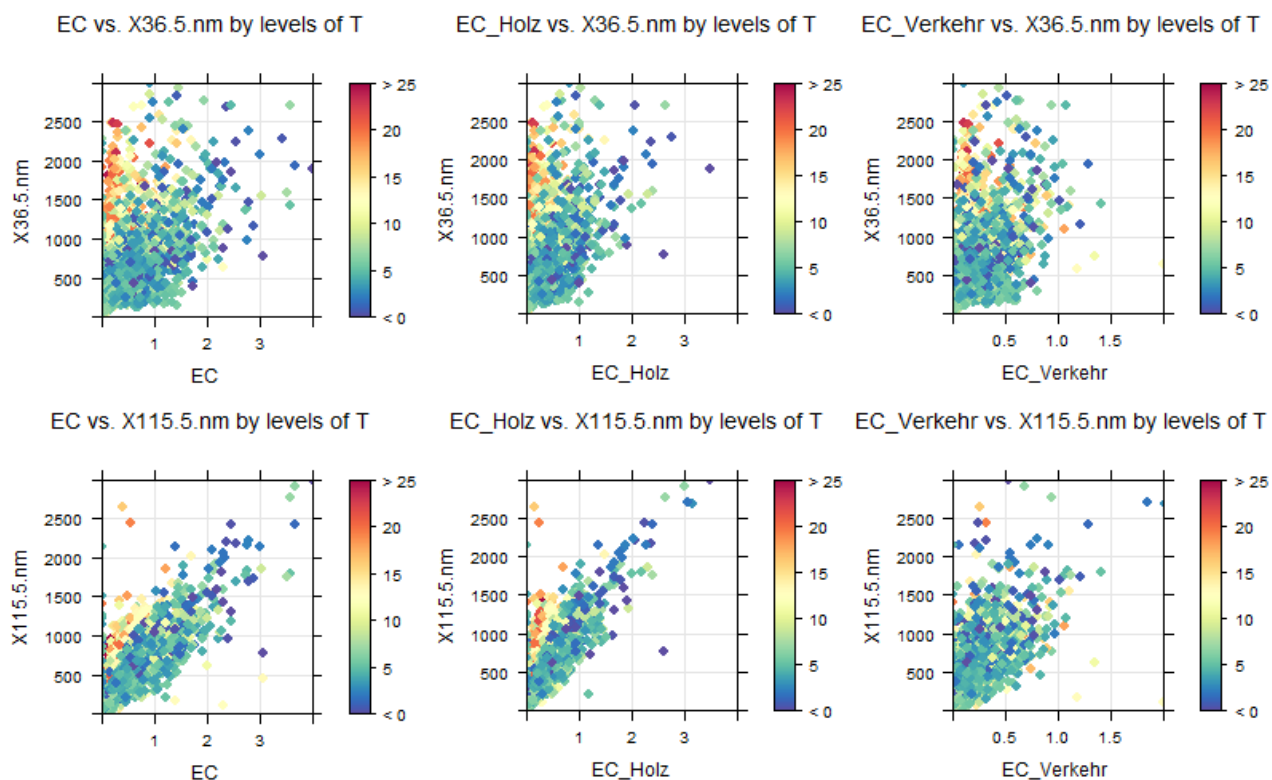


Abb. 20: Konzentration zwei verschiedener Partikelgrössenklassen (mittlere 1h Mittelwerte, farbkodiert nach Temperatur) am Standort Grabs gemessen von Aug.-Dez. 2019 in Abhängigkeit von der EC Konzentration.

Von August bis Dezember (unvollständige Messreihe) liegen für die kleinste Fraktion des Feinstaubes auch Informationen zu den Partikelgrössenklassen vor (Grössenbereich ca. 15nm – 154 nm) Die Messdaten des SMPS wurden als Konzentration nach Windrichtung analysiert. Die Ergebnisse für drei Grössenklassen sind in Abb. 19 dargestellt. Dabei wurde, soweit der Messzeitraum es erlaubt, nach Sommer (Aug./Sep.) und Winter (Nov./Dez.) unterschieden. Im Sommer stammt die Partikelfraktion um 20.5 nm vor allem aus östlicher Richtung, während die grösseren Partikel (64.9nm/ 115.5nm) vor allem aus Westen herbeiverfrachtet werden. Im Winter stammen die Feinstaubpartikel >60 nm überwiegend aus der lokalen Umgebung der Messstation, während die kleinsten Partikel <60 nm aus nordöstlicher und südwestlicher Umgebung stammen und auch aus grösseren Distanzen herbeitransportiert werden. Ein Vergleich der Konzentrationen für zwei Grössenklassen (36.5 nm und 115.5 nm) mit den Konzentrationen von EC, EC_{Holz} und EC_{Verkehr} (siehe Abb. 20) zeigt, dass die 115.5 nm Partikel gut mit EC korrelieren, insbesondere mit EC_{Holz}. Die Korrelation ist insbesondere bei tiefen Temperaturen gegeben (Zeitraum, wenn geheizt wird). Die Partikel stammen daher vermutlich aus Holzfeuerungen.

4.4 Jahrgang und Inversionen

Im Herbst und Winter kommt es in Gebirgstälern aufgrund ihrer Topographie oft zu Inversionswetterlagen. Bei Inversionen ist die vertikale Durchmischung der Luftschichten durch Turbulenz gering und es entsteht eine stabile Schichtung bei der die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Da es keinen Luftaustausch zwischen den Luftschichten gibt, kommt es zur Akkumulierung von Schadstoffen in bodennahen Schichten (Smog).

Zur Erfassung der Inversionswetterlagen (Höhe und Häufigkeit) in Grabs, wurden am bewaldeten Nordhang des Buchserberg kontinuierliche Temperaturmessungen mit Temperatursensoren (siehe Abb. 2) durchgeführt. Dazu wurden analog zu früheren Projekten (z.B. Ebnat Kappel, Flums) sieben Sensoren in unterschiedlichen Höhen zwischen ca. 450 m und 650 m ü.M. montiert. Die Temperaturmessungen erlauben eine Inversionserfassung in sechs Schichten und werden zur Klassierung von Inversionswetterlagen herangezogen. Eine Inversion lag vor bei einem Temperaturunterschied von >1°C je 100 m. Nachfolgend beschreibt die Anzahl der Inversionen die Inversionsanzahl (Inv) innerhalb der sechs möglichen Luftschichten. Der gesamte Temperaturunterschied der Inversionschichten ist als Inversionsstärke wiedergegeben (InSt).

Am Buchserberg gestaltete sich die Erfassung der Inversionslagen schwierig, da der Nordhang generell nicht zusammenhängend bewaldet ist, einige Standorte verschoben werden mussten und der Werdenbergersee den untersten Standort beeinflusste. Zudem ist die Distanz zwischen Buchserberg und Grabs im Vergleich zu früheren Messorten weit (vergl. Projekte wie z.B. Ebnat Kappel, Flums) und die

Temperaturen zwischen den Orten sind nicht immer übertragbar. Die Ergebnisse der Inversionserfassung sind daher nur punktuell geeignet, um die Grabser Messungen zu interpretieren. Diverse Schadstoffkonzentrationen, meteorologischen Parameter sowie die Inversionsanzahl über den gesamten Messzeitraum in Abhängigkeit von der Tageszeit sind vollständigshalber im Anhang dargestellt.

Abb. 21 zeigt eine typische Wintersituation der Luftbelastung in Grabs. Zu sehen ist der Verlauf der PM₁₀, EC, O₃ und NO₂ Konzentrationen, der Temperatur, der Inversionsanzahl, der Windrichtung und Windgeschwindigkeit im Februar 2019 in Stundenauflösung. Zwischen dem 6. und 9. Februar sowie vom 13.-27. Februar traten Inversionen auf. In diesem Zeitfenster sind die Windgeschwindigkeiten gering, die Windrichtung schwankt je nach Tageszeit durch Hangauf- und Hangabwinde und die PM₁₀, EC und NO₂ Belastungen steigen massiv, je nach Tageszeit, an. Vom 10.-12. Februar wurde die Inversionslage durch Föhnwind unterbrochen. In diesem Zeitfenster ist die Windgeschwindigkeit hoch und die PM₁₀, EC und NO₂ Konzentrationen brechen ein, die O₃ Konzentration steigt gegenläufig an.

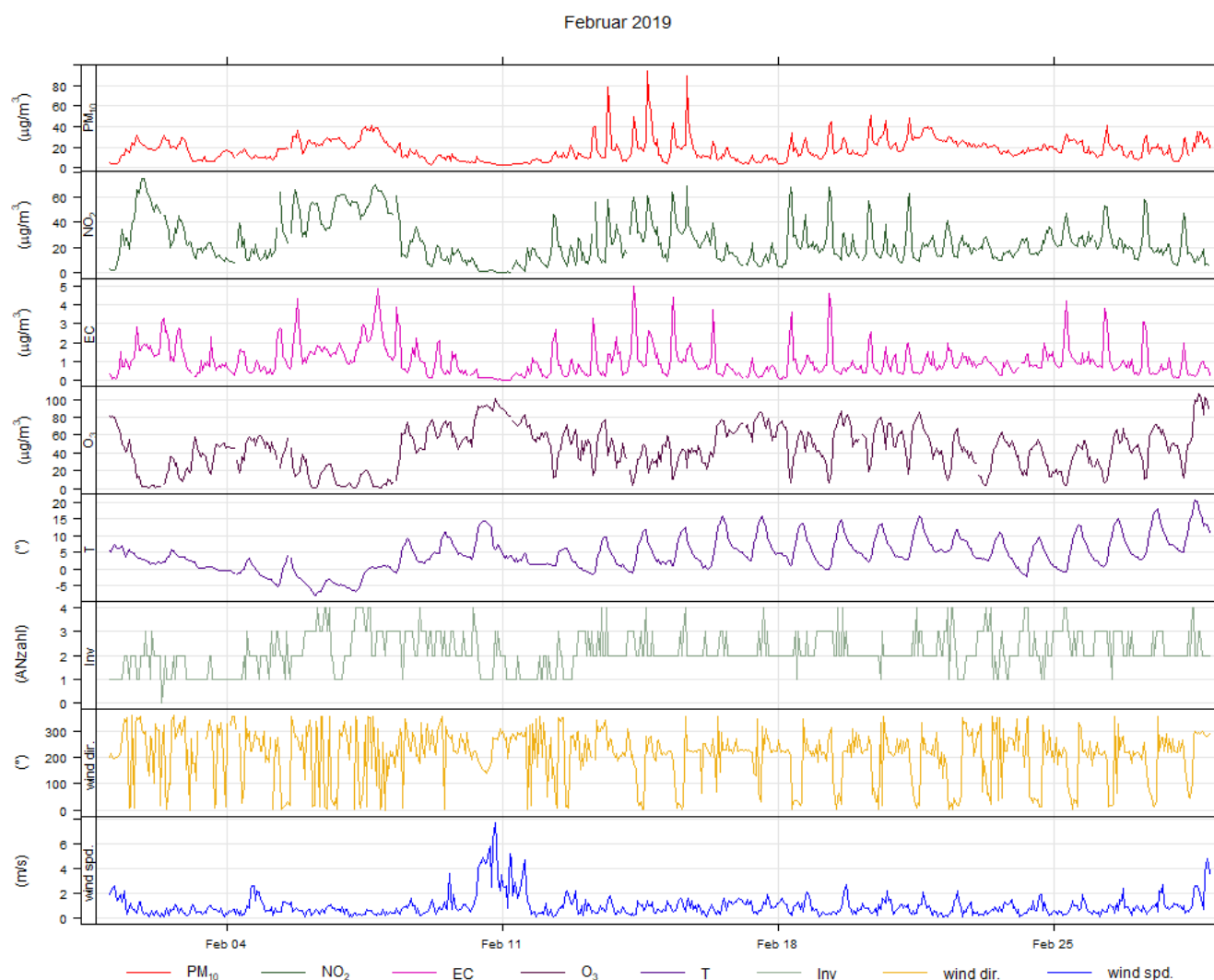
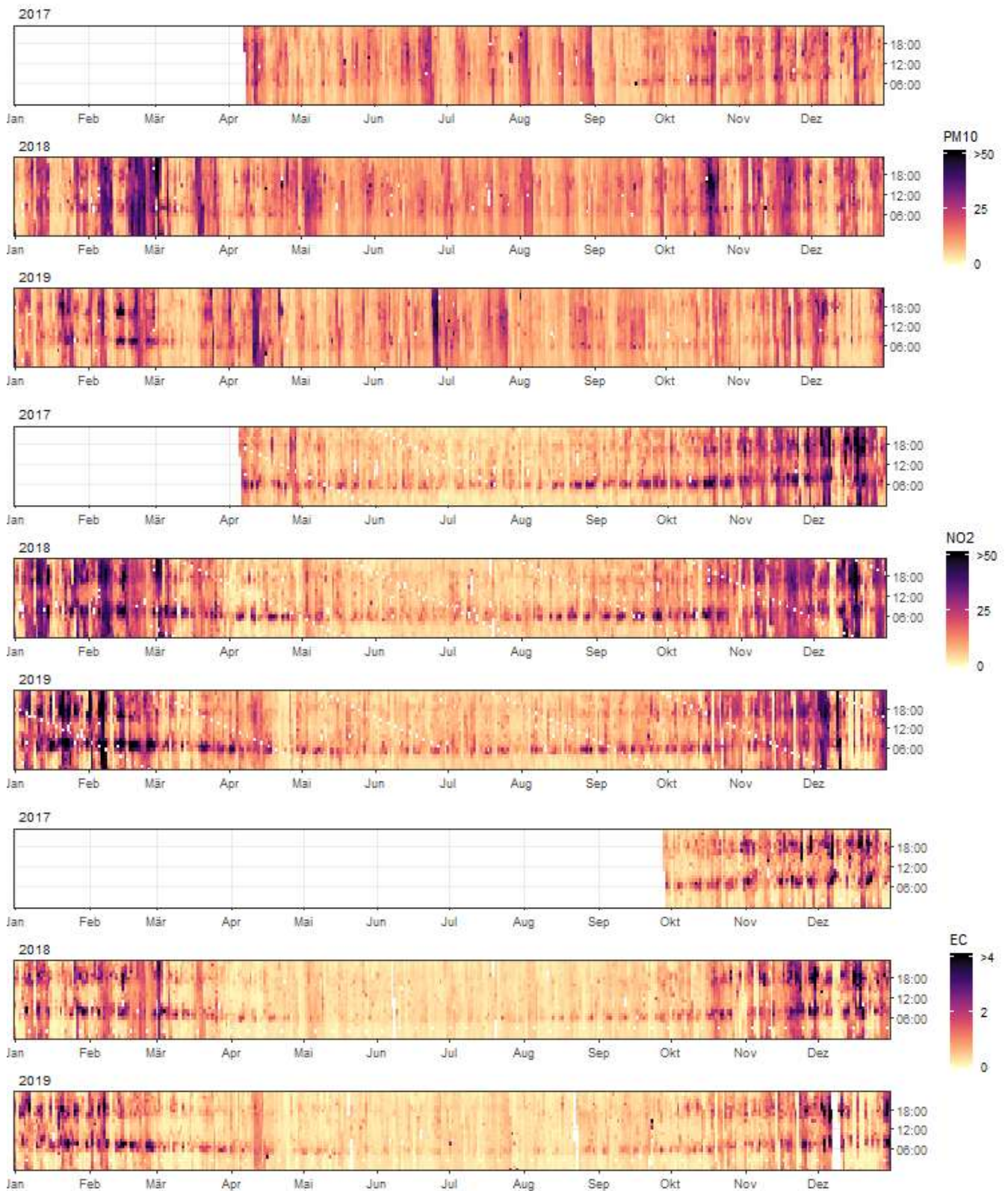


Abb. 21: Verlauf verschiedener Schadstoffe, Meteoparameter und Inversionsmarker im Februar 2019 (Stundenmittelwerte).

Anhang Jahresgänge



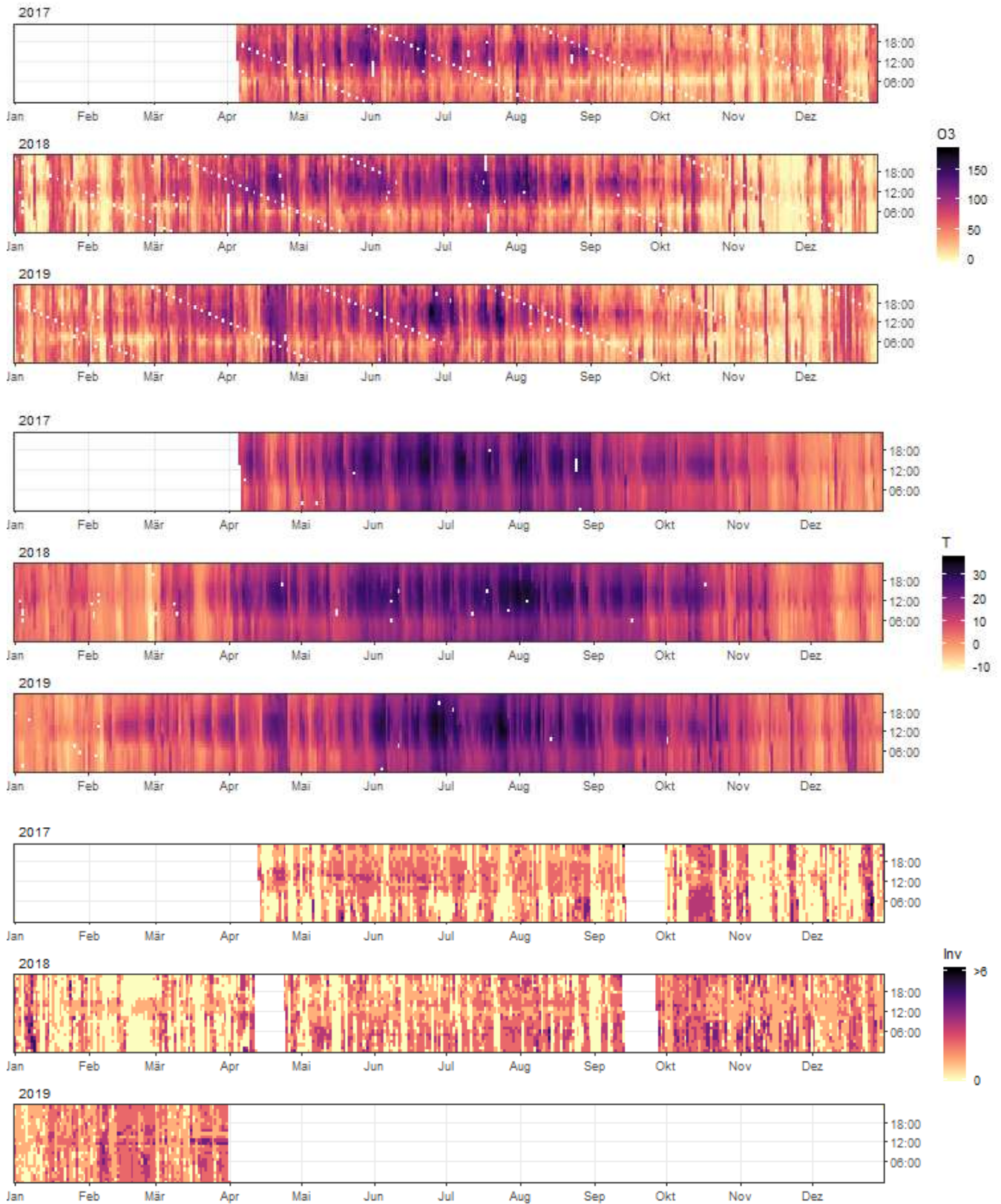


Abb. A1-A6: Farbkodierter Tagesgang als Jahrgang für PM₁₀, NO₂, EC, O₃, T und Inv im Zeitraum April 2017 bis Dezember 2019 am Standort Grabs Marktplatz, alle Schadstoffmesswerte in [µg/m³], Temperatur in [°C] und Inv als Anzahl Inversionsschichten.