

Projekt Bodensee 2022 / 23



Schlussbericht 2024

Abkürzungsverzeichnis

LDSA	Lung-deposited surface area
LRV	Eidgenössische Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142.1)
P2.Pro	Partector 2 Pro Partikelanzahl Messgerät
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm (Schadstoff) pro Kubikmeter (Luft)
UFP	Ultrafeine Partikel kleiner als 100 nm
BC	Black Carbon online oder auf Filtern gemessen mit blauem / rotem Licht
eBC	Elemental Black Carbon referenziert auf EC TOT Eusaar2 aus Quarzfaserfiltern / Russ
PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
VOC	Flüchtige organische Verbindungen / Volatile Organic Compounds
Zeiteinteilung für Auswertung je Saison:	
DJF	Dezember Januar Februar
MAM	März April Mai
JJA	Juni Juli August
SON	September Oktober November

Impressum

Herausgeber:	OSTLUFT – Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein
Projektteam:	Hanna Herich, Dominik Noger, Susanne Schlatter
Auswertungen:	Susanne Schlatter, Lukas Schlagenhauf
Kontakt:	OSTLUFT, sekretariat@ostluft.ch
Titelbild:	Messstation Arbon Mole, Kanton TG
Copyright:	© OSTLUFT, Abdruck mit Quellenangabe erwünscht

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

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Ziele	4
3	Projektumfang	5
3.1	Übersichtsplan	5
4	Messstation Arbon Mole	7
4.1	Standort	7
4.2	Wetter	7
4.2.1	Windsituation	7
4.2.2	Inversion und Meteoefluss Bodensee	9
5	Messwerte und deren Einordnung	11
5.1	Stickstoffdioxid (NO ₂)	11
5.1.1	NO ₂ Jahresmittelwerte	11
5.1.2	NO ₂ mittlerer Tagesgang	14
5.1.3	NO ₂ Passivsammler Langzeitmessreihen	14
5.2	Ozon (O ₃)	16
5.3	Feinstaub (PM _{2.5})	18
5.3.1	PM _{2.5} Konzentrationen	18
5.3.2	PAH im PM _{2.5} Feinstaub	20
5.3.3	eBC im PM _{2.5} Feinstaub	22
5.4	Zusammenfassung aller Schadstoffe Messstation Arbon Mole	26
5.5	Oldtimertreffen 2022	28
5.6	Partikelanzahl Konzentration Partector 2 Pro	29
6	Zeitliche Entwicklung der Messwerte	31
7	Anhang	32
7.1	Windmessdaten	32
7.2	Mittlerer Tagesgang je Kalenderwoche (mit Sommerzeit Verschiebung)	33
7.3	Messstandorte	36

1 Zusammenfassung

Auf der Arboner Mole wurde eine temporäre Luftqualitäts-Messstation installiert. Ziel war es, die verkehrsunabhängige Hintergrundbelastung der Luft abzubilden und die Daten mit Messungen von Ostluft sowie Vorarlberger Stationen zu vergleichen. Die Witterung am Standort der Messstation, hauptsächlich der lokale Wind und die Temperatur, wird beeinflusst vom Bodensee. Zusätzlich entsteht in der Region Bodensee öfters eine Temperaturinversion, welche den Abtransport von Luftschadstoffen verhindert.

Die NO_2 -Konzentrationen in Arbon liegen trotz der Lage auf der Mole nur geringfügig unter den Werten der innerstädtischen Messstationen in Konstanz oder Weinfelden. Grund hierfür ist ein leichter Westwind, der abends die Abgase aus dem Stadtgebiet direkt zur Messstation transportiert. Dennoch bleiben die Messwerte deutlich unter der Belastung an den Hauptverkehrsachsen von St. Gallen, Goldach, Romanshorn oder Kreuzlingen.

Die gemessenen O_3 -Konzentrationen an den verschiedenen Messstationen zeigen einen klaren Unterschied zwischen den urbanen und den ländlichen Messstandorten, wobei die Konzentrationen und der Tagesgang in Arbon vergleichbar sind mit den urbanen Gebieten. Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen ist höher im Vergleich zum verkehrsreichen Blumenbergplatz, aber ähnlich hoch wie in Konstanz und in Lustenau.

Die $\text{PM}_{2.5}$ -Konzentrationen in der Bodenseeregion sowie in den Gebieten St. Gallen und Vorarlberg liegen auf einem ähnlichen Niveau; lediglich an höher gelegenen Standorten fallen die Werte etwas niedriger aus. Lokale Quellen tragen verhältnismässig wenig zur $\text{PM}_{2.5}$ -Belastung bei. Die massgeblichen Einflüsse stammen vom Strassenverkehr sowie von Heizemissionen, verstärkt durch die häufigen Inversionslagen in der kalten Jahreszeit.

Die Messresultate für eBC / Russ werden stark vom Verkehrsaufkommen beeinflusst, zeigen im Winter jedoch auch eine deutliche Prägung durch Holzheizungen. Bei den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), insbesondere bei Benzo(a)pyren, tritt der Einfluss der Holzverbrennung sogar noch deutlicher hervor.

2 Ziele

Die lufthygienische Belastungssituation im Bodenseeraum unterscheidet sich witterungstechnisch von der an anderen Orten im Ostluft-Gebiet durch das Bodenseeklima, das Obstanbaugebiet, die kühle Brise im Sommer und den zähen Nebel im Winter. Das Ufer ist dicht besiedelt und die Ortschaften sind durch stark frequentierte Durchgangsstrassen miteinander verbunden. Stellvertretend, für die am Bodensee anliegenden Gemeinden, wurden in Arbon die Luftbelastung in den Jahren 2022 und 2023 gemessen und mit verschiedenen Stationen im Bodenseegebiet und im Ostluftbereich verglichen. Im Fokus standen die Stickoxid-, Ozon-, und Feinstaubkonzentrationen. Die erfassten Daten dienen auch als unabhängige Messdaten für die Validierung der neuen PolluMap Modellierung im Ostluftraum.

3 Projektumfang

3.1 Übersichtsplan

Die Daten wurden an 22 Messstandorten im Bodenseegebiet erhoben, von denen acht als automatische Stationen betrieben werden. Nur die Messstation Arbon Mole wurde für das Messprojekt neu eingerichtet. An den übrigen Standorten wurden im Messzeitraum NO₂-Passivsammler eingesetzt. Neben einigen bekannten NO₂-Passivsammler Standorten mit langjährigen Messreihen sind zusätzliche neue Standorte (PS+Projekt), vor allem an Strassenlagen, angebracht worden. An zwei Messstandorten lief zusätzlich ein Hivolsammler zur Feinstaub- und eBC- / Russbestimmung. Die verschiedenen Messorte wurden aufgrund der lokalen Verkehrsbelastung kategorisiert und für eine bessere Übersicht einem einheitlichen Farbschema zugewiesen (Rot-Violett: stark befahrene Strasse; Orange: Hauptverkehrsachsen; Türkis: Innerorts; Hellgrün: Hintergrundkonzentration in der Höhe). Tab. 1 zeigt die Ortschaften mit Messstandorten und die vorliegenden Verkehrssituationen. Die geografischen Positionen der Messstandorte sind in Abb. 1, der Messplan für die jeweiligen Messstandorte in Tab. 2 dargestellt.

Ortschaft	Land	Kanton	Einwohner	stark befahrene Strasse	Hauptverkehrs Achse	Inner-orts	Hintergrund erhöht
Goldach	CH	SG	9'600				
Rorschach	CH	SG	9'700				
Stadt St.Gallen	CH	SG	82'000				
Wittenbach	CH	SG	9'900				
Amriswil	CH	TG	14'500				
Arbon	CH	TG	15'700				
Kreuzlingen	CH	TG	23'000				
Romanshorn	CH	TG	11'600				
Weerswilen	CH	TG	260				
Weinfelden	CH	TG	12'100				
Stadt Konstanz	D	Landkreis KN	18'000 / 87'000				
Lustenau	A	Vorarlberg	23'800				
Sulzberg	A	Vorarlberg	1800				

Tab. 1: Verkehrsbelastung an den verschiedenen Messstandorten

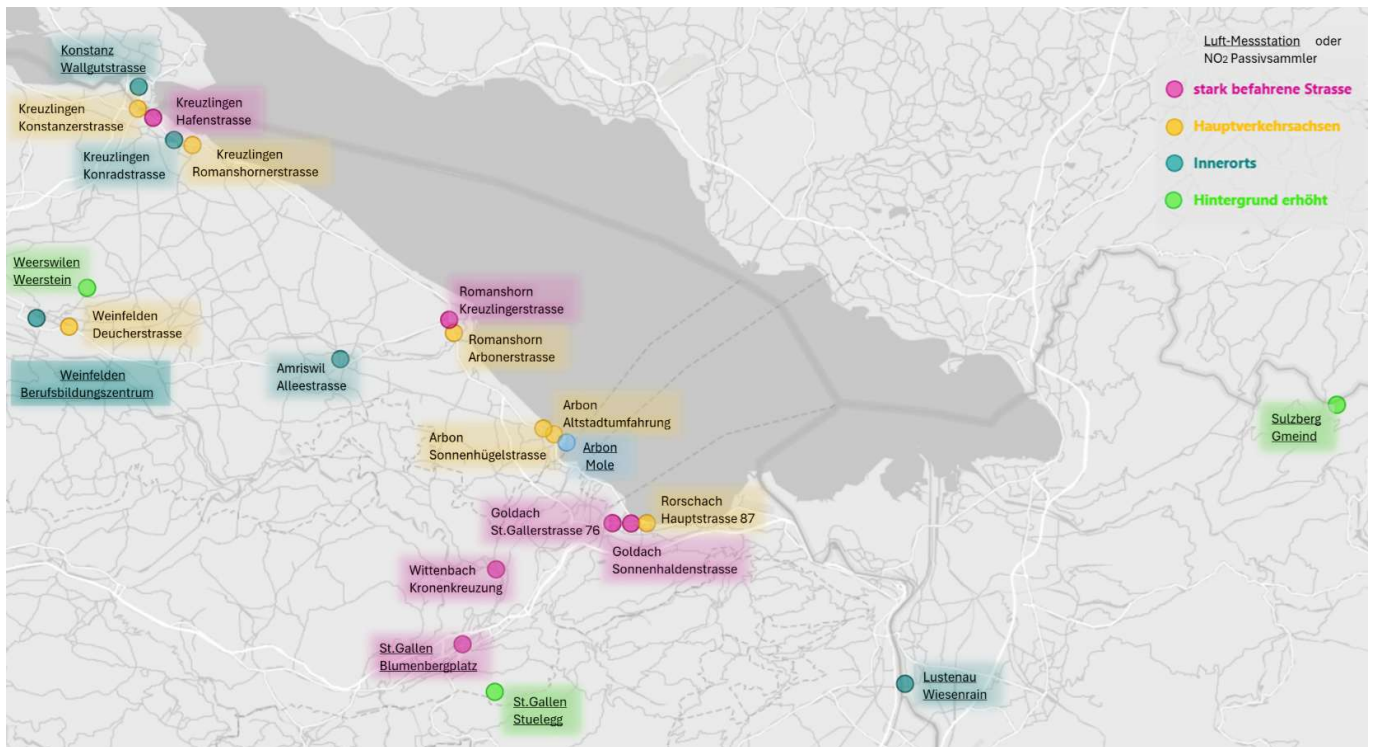


Abb. 1: Position der Messstandorte: automatische Messstationen sind unterstrichen, zusätzliche Projekt-Messstation Arbon Mole hellblau

Messstandort	Ortschaft	Messstandort	Belastung	Messung mit	Kürzel	Messjahre	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	eBC.Online	eBC.Hivol	Meteo	Bemerkung
Arbon. Mole	Arbon	Mole		Messstation	ARBM	2022/23								
Konstanz. Wallgutstrasse	Konstanz	Wallgutstrasse		Messstation	KN	2022/23								
Lustenau. Wiesenrain	Lustenau	Wiesenrain		Messstation	LuW	2022/23								
Sulzberg. Gmeind	Sulzberg	Gmeind		Messstation	SuG	2022/23								
St.Gallen. Blumenbergplatz	St.Gallen	Blumenbergplatz		Messstation	SGB	2022/23								
St.Gallen. Stuelegg	St.Gallen	Stuelegg		Messstation	STGS	2022/23								
Weerswilen. Weerstein	Weerswilen	Weerstein		Messstation	WEEW	2022								
Weinfelden. Berufsbildungszentrum	Weinfelden	Berufsbildungszentrum		Messstation	WEFZ	2022								
Amriswil. Alleestrasse	Amriswil	Alleestrasse		PS Messnetz		2022								
Arbon. Altstadtumfahrung	Arbon	Altstadtumfahrung		PS Projekt		2022/23								
Arbon. Sonnenhügelstrasse	Arbon	Sonnenhügelstrasse		PS Projekt		2022/23								Baustelle 2023
Goldach. St.Gallerstrasse 76	Goldach	St.Gallerstrasse 76		PS Messnetz		2022/23								
Goldach. Sonnenhaldenstrasse	Goldach	Sonnenhaldenstrasse		PS + Hivol		2022/23								
Kreuzlingen. Hafenstrasse	Kreuzlingen	Hafenstrasse		PS Projekt		2022/23								
Kreuzlingen. Konradstrasse	Kreuzlingen	Konradstrasse		PS Messnetz		2022/23								
Kreuzlingen. Konstanzerstrasse	Kreuzlingen	Konstanzerstrasse		PS Projekt		2022/23								
Kreuzlingen. Romanshornstrasse	Kreuzlingen	Romanshornstrasse		PS Messnetz		2022/23								
Romanshorn. Arbonerstrasse	Romanshorn	Arbonerstrasse		PS Projekt		2022/23								
Romanshorn. Kreuzlingerstrasse	Romanshorn	Kreuzlingerstrasse		PS Projekt		2022/23								
Rorschach. Hauptstrasse 87	Rorschach	Hauptstrasse 87		PS Messnetz		2022/23								Baustelle 2022+23
Weinfelden. Deucherstrasse	Weinfelden	Deucherstrasse		PS Messnetz		2022/23								
Wittenbach. Kronenkreuzung	Wittenbach	Kronenkreuzung		PS + Hivol		2023								

Tab. 2: Messplan für die jeweiligen Messstandorte (PS: NO₂ Passivsammler; Hivol: Feinstaubsammler; eBC: elemental Black Carbon; PS Projekt = nur für Projekt gemessene NO₂ Passivsammler)

4 Messstation Arbon Mole

4.1 Standort

Die Messstation in Arbon wurde auf der Mole installiert, 150 Meter vom Ufer entfernt (Abb. 2). An diesem Messstandort sind die Messergebnisse stark von der lokalen Windrichtung abhängig, bei Landwind wird die Schadstoffkonzentration der Städte Arbon und Steinach gemessen und bei Seewind die Hintergrundkonzentration vom Bodensee. Ziel der Messung war es, die verkehrsunabhängige Schadstoff-Hintergrundbelastung nahe dem Bodenseeufer repräsentativ abzubilden.

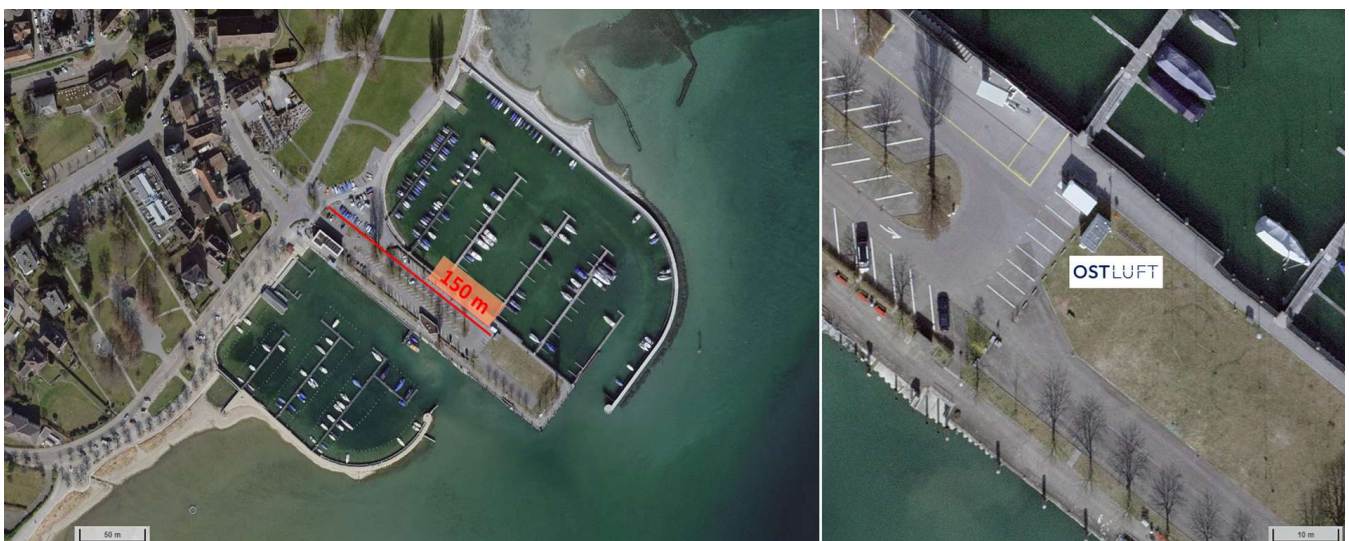


Abb. 2: Orthofoto der Messstation Arbon Mole

4.2 Wetter

4.2.1 Windsituation

Der lokale Wind hat einen grossen Einfluss auf die Messergebnisse, weshalb die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit während der ganzen Messperiode aufgezeichnet wurden. In Abb. 3 wird die Windrichtung an allen Messtagen mit einer stündlichen Auflösung je Messtag dargestellt. Es zeigen sich zwei vorherrschende Windregimes: Nachts der Landwind (SW) und tagsüber der Seewind (NO), wobei letzterer im Sommer deutlich ausgeprägter ist als im Winter. In Abb. 4 wird die ganze Situation noch einmal für die jeweiligen Jahreszeiten zusammengefasst. Die linke Darstellung zeigt den mittleren Tagesgang, die rechte Darstellung die durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen als Windrose. Der Landwind repräsentiert den Bereich Südwest von 180° bis 270° und kommt in allen Jahreszeiten am häufigsten vor. Im Sommer / Herbst dreht der Wind am Abend deutlich ersichtlich über Südost zurück auf Südwest. Beide Darstellungen sind unterteilt in die vier Saisons wie es für die Auswertung von Luftschadstoffwerten üblich ist. Von Dezember bis Februar kommt es am häufigsten zu Inversionslagen, weshalb die Einteilung der Saisons nicht den Jahresquartalen entspricht.

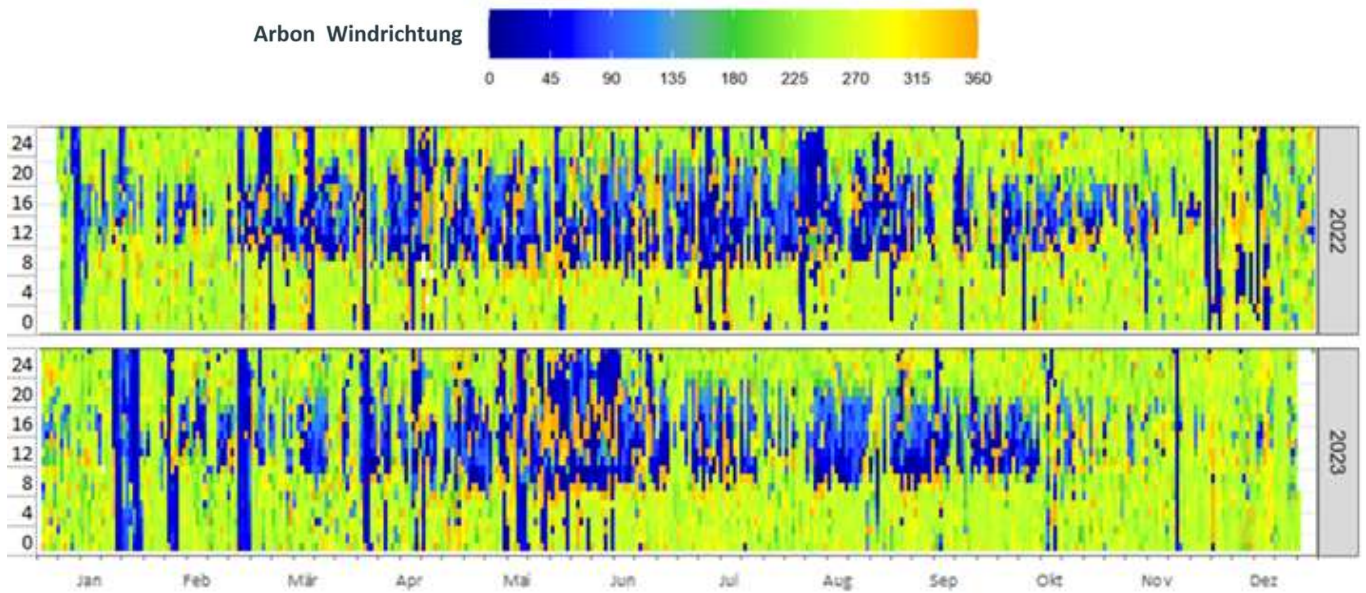


Abb. 3: Windsituation bei der Messstation Arbon Mole während dem Messzeitraum 2022 und 2023, die Windrichtung ist dargestellt je Stunde und je Messtag

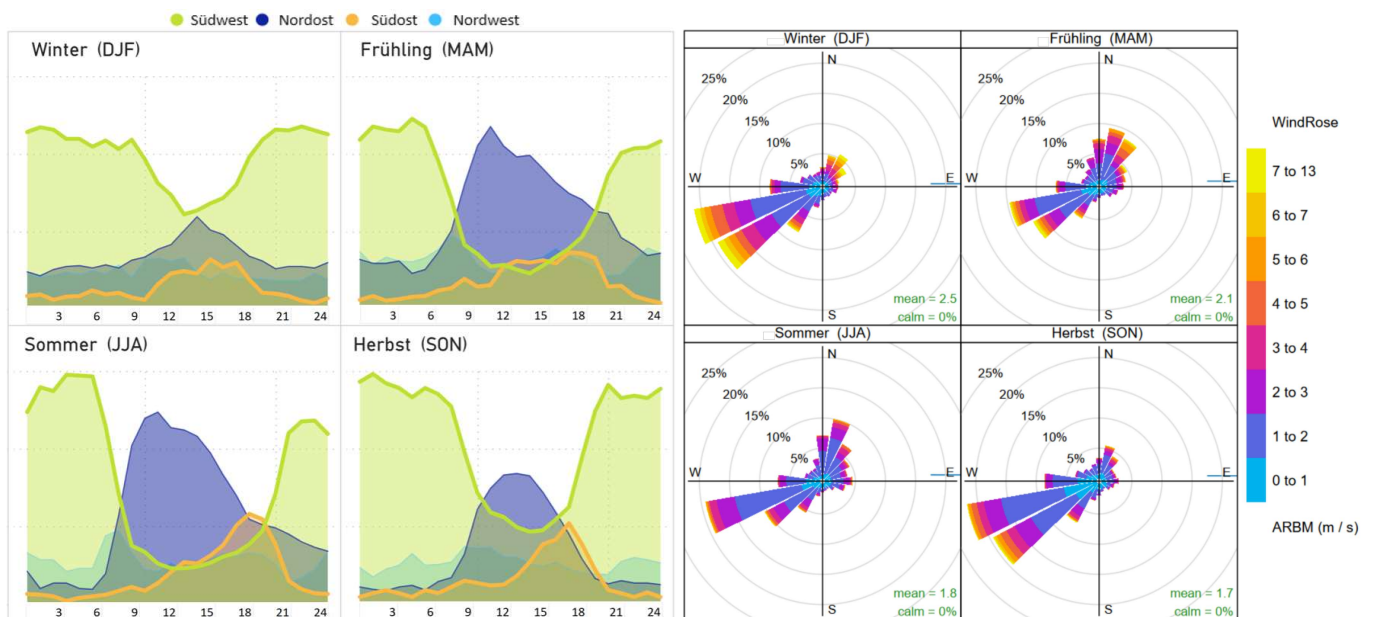


Abb. 4: Windsituation bei der Messstation Arbon Mole während der Messperiode; links: Windrichtungshäufigkeit je Tageszeit und aufgeteilt in vier Windsektoren je Saison; rechts: durchschnittliche Auftrittshäufigkeit der Windrichtungen als Windrose unterteilt nach Windgeschwindigkeiten je Saison

4.2.2 Inversion und MeteoEinfluss Bodensee

Eine Temperaturinversion (Inversionslagen), vor allem eine stabile Bodeninversion mit geringer Windgeschwindigkeit, verhindert den Austausch von Luftmassen, wodurch in Bodennähe ausgestossene Luftschadstoffe nur wenig verdünnt oder verfrachtet werden können. Das Resultat sind stark erhöhte Luftschadstoffwerte.

Zur Identifizierung von Inversionslagen können die Temperaturdaten zweier Wetterstationen in unterschiedlichen Höhen herangezogen werden, wobei in Arbon der Einfluss des Bodensees auf die lokale Temperatur berücksichtigt werden muss. Aufgrund der thermischen Trägheit des Sees steigt die Temperatur am Morgen langsamer an, während die Abende und Nächte durch den wärmeabgebenden Effekt des Wassers milder bleiben. In Abb. 5 sind die Temperaturverläufe von drei Standorten dargestellt: Arbon (ARBM.T) in direkter Seennähe sowie Weinfelden (WEFZ.T) und Lustenau (LuW.T), welche sich landeinwärts auf derselben Höhenlage befinden. Die Temperaturen in Arbon sind tagsüber tiefer und nachts höher als an den Vergleichsstationen, sofern keine besonderen Wetterereignisse wie Föhn oder Regen vorliegen. Sobald der Seewind am Morgen ungefähr um 8 bis 9 Uhr einsetzt, dämpft dies den Temperaturanstieg [1].

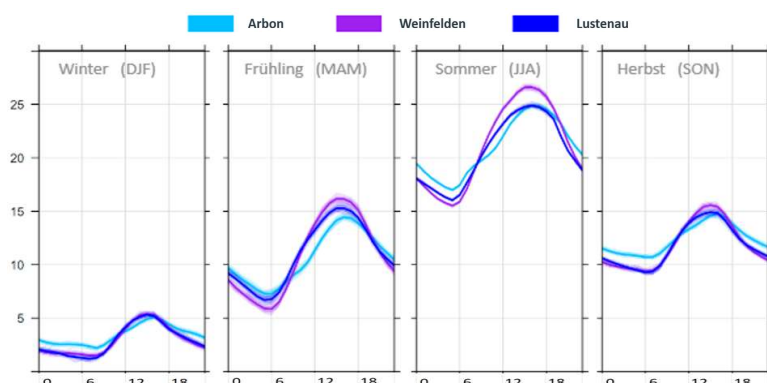


Abb. 5: Saisonale Temperaturverläufe (stündlich) für die Standorte Arbon, Weinfelden und Lustenau (in °C) im Jahr 2022

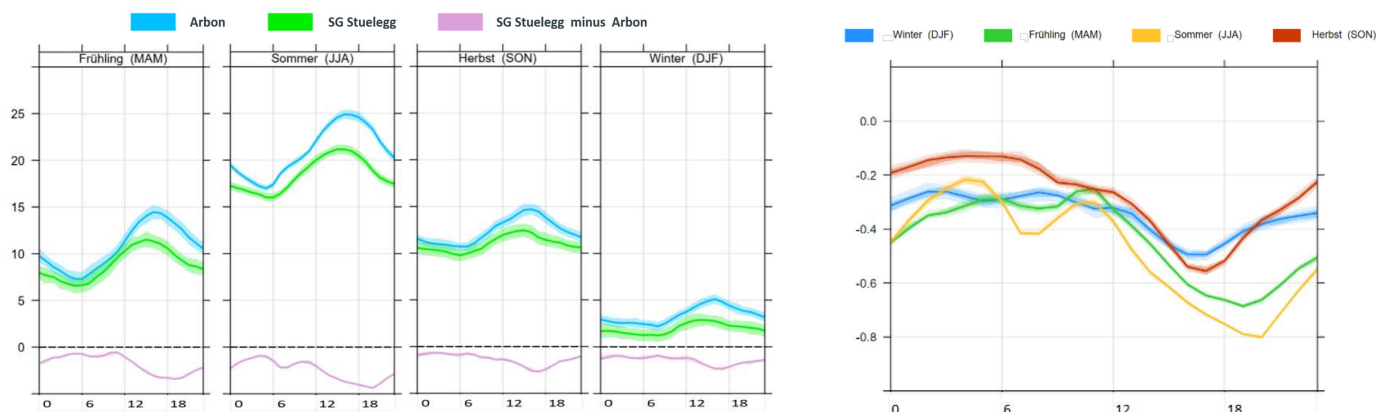


Abb. 6: links: Saisonale Temperaturverläufe (stündlich), sowie die Temperaturdifferenz zwischen St.Gallen Stuelegg (STGS.T; 915 müM) und Arbon (ARBM.T; 398 müM); rechts: die Temperaturdifferenzen je Saison in einer Grafik zusammengefasst

¹ Information von D. Gerstgrasser; Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Für die Erfassung von Inversionslagen in diesem Bericht wird als Referenz die Temperatur der Höhenstation St.Gallen Stuelegg verwendet (Abb. 6). Der Höhenunterschied zwischen den beiden Station führt zu einem genug grossen Temperaturunterschied, damit es in Stuelegg an normalen Tagen durchgehend kälter ist als in Arbon, trotz des oben erwähnten Einflusses vom Bodensee. Die Messung der Inversionslage basiert auf dem Temperaturgradienten zwischen Arbon Mole und St. Gallen Stuelegg, normalisiert auf 100 Höhenmeter. Bei einer starken Inversionslage ist es in St. Gallen Stuelegg mindestens 0.5 °C wärmer als in Arbon, bei einer schwachen Inversionslage liegt die Differenz der beiden Messstationen zwischen minus 0.5 °C und plus 0.5 °C.

Die Auswertung der Temperaturdifferenzen ist in Abb. 7 dargestellt und zeigt, dass es das ganze Jahr über zu Inversionslagen kommen kann. Dargestellt sind die stündlichen Temperaturdifferenzen je Messtag. Der Tagesverlauf der Temperaturdifferenz zeigt auf, dass in Arbon am Morgen oft eine schwache Inversionslage gemessen wird. Diese steht sicher im Zusammenhang mit dem oben erwähnten Temperatúrausgleich vom Bodensee und dem langsameren Temperaturanstieg. Starke Inversionslagen treten häufig den ganzen Tag über auf.

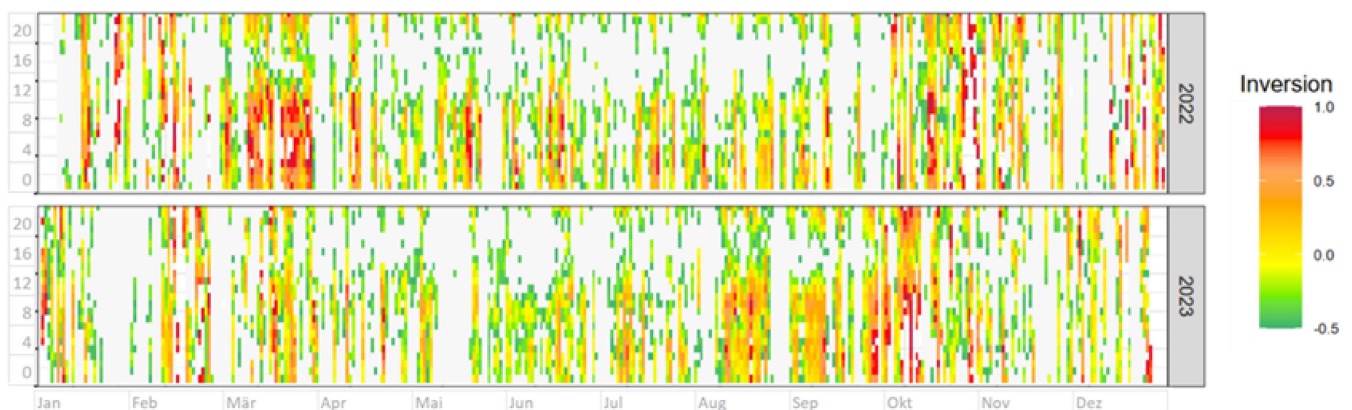


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der Temperaturinversion zwischen St.Gallen Stuelegg und Arbon Mole je Messtag und Stunde für die Messjahre 2022 und 2023; schwache Inversion (ΔT zwischen -0.5 und 0.5°C); starke Inversion (ΔT über 0.5°C)

5 Messwerte und deren Einordnung

5.1 Stickstoffdioxid (NO₂)

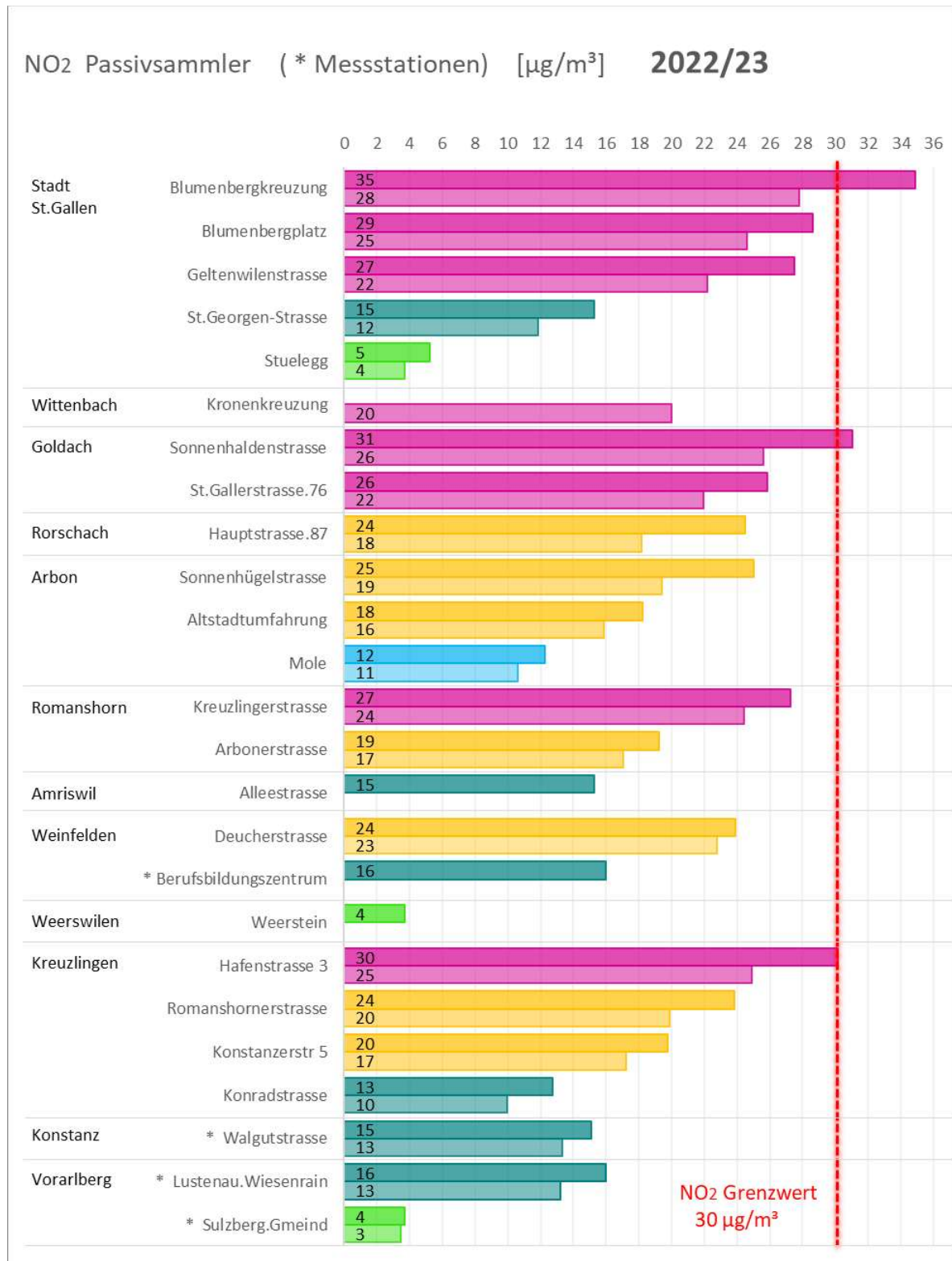
5.1.1 NO₂ Jahresmittelwerte

Die Grenzwerte für die NO₂-Belastung liegen bei einem Jahresmittelwert von 30 µg/m³ und bei einem 24-Stundenmittelwert von 80 µg/m³, welcher höchstens einmal im Jahr überschritten werden darf. Der Tagesgrenzwert ist in beiden Messjahren bei keiner der Online-Messstationen überschritten worden. In Tab. 3 sind die Jahresmittelwerte der NO₂-Belastung im Raum Bodensee einschliesslich der Stadt St. Gallen und dem bodenseenahen Rheintal aufgelistet, zusammengefasst nach der Verkehrssituation. In Tab. 4 sind die Messresultate aller Messstationen einzeln dargestellt. Die Hintergrundkonzentrationen in erhöhter Lage sind deutlich tiefer, verglichen mit den restlichen Messstandorten. Die Innerortsstandorte in Wohnquartieren sind im Vergleich zu den verkehrsbelastenden Messstandorten weniger stark belastet. Über beide Messjahre gab es bei allen Messstationen nur zwei Grenzwertüberschreitungen, bei der Blumenbergkreuzung in St. Gallen und an der Sonnenhaldenstrasse in Goldach, beide im Jahr 2022.

Der zeitliche Messverlauf für ausgewählte Online-Messstationen ist in Abb. 8 wiedergegeben. Im Winter werden an allen Stationen höhere NO₂-Konzentrationen gemessen, verglichen mit den anderen Jahreszeiten. Der wichtigste Grund hierfür ist der Einfluss der Wohnungsheizungen, welche in den restlichen Monaten nicht oder nur reduziert zur Warmwasserproduktion zum Einsatz kommen. Zusätzlich tragen auch die Inversionslagen und tiefere Windgeschwindigkeiten zur schlechteren Durchlüftung in bodennahen Luftschichten und zur höheren Luftschadstoffbelastung bei. Im Winter 2022 gab es deutlich öfters Inversionslagen als im Jahr 2023 (siehe Kap. 4.2.2).

NO ₂ stark befahrene Strassen		NO ₂ Hauptverkehrsachsen		NO ₂ Innerorts		NO ₂ Hintergrund erhöht	
2022	29	2022	22	2022	15	2022	4
2023	25	2023	19	2023	12	2023	4

Tab. 3: Jahresmittelwert über verschiedene Belastungssituationen der Messjahre 2022 und 2023



Tab. 4: Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentration an allen Messstandorten; * Onlinemessung der Messstationen, sonst gemessen mit NO₂ Passivsammlern. Messungen mit NO₂ Passivsammlern: Messintervall 14 Tage (Höhenstandorte 28 Tage) und berechnet als Jahresmittelwerte aus 26 (resp. 13) Serien.

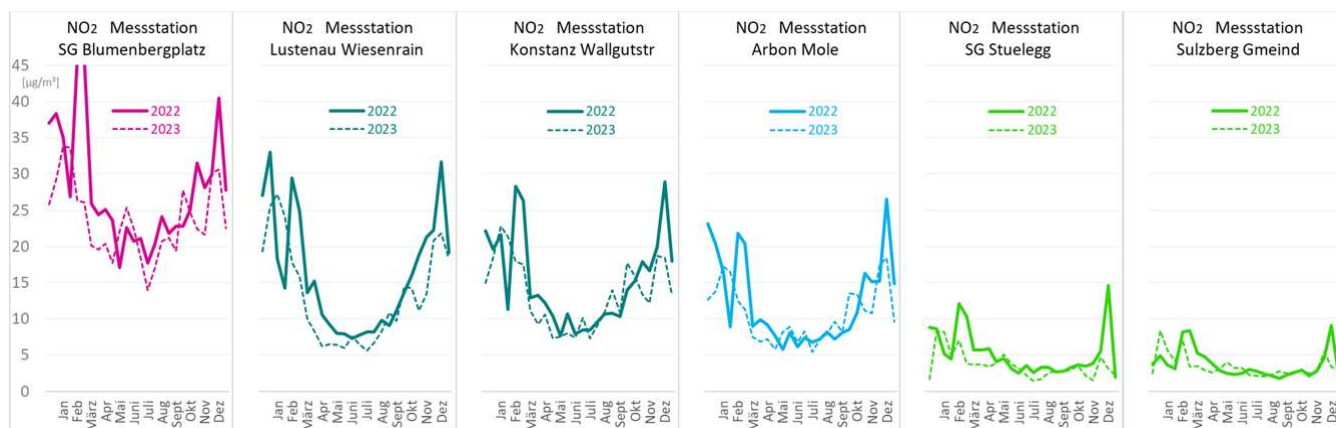


Abb. 8: zeitliche Darstellung der NO₂-Belastung an ausgewählten Messstationen im Jahresgang; die Belastungskategorien sind gemäss Tab. 1 eingeführt.

Die Abhängigkeit der NO₂-Konzentration von der Verkehrsbelastung ist in Abb. 9 dargestellt. Bei einem höheren durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) werden höhere NO₂-Konzentrationen gemessen, wobei die Korrelation nicht linear ist. Interessanterweise scheint es zwei unterschiedliche Regimes zu geben (gelbe und blaue Punkte), welche eine Differenz von ca. 6 µg/m³ aufweisen. Mögliche Ursachen für diese Differenz der zwei Regimes könnte die Dichte der Bebauung oder die Zentrums Lage sein.

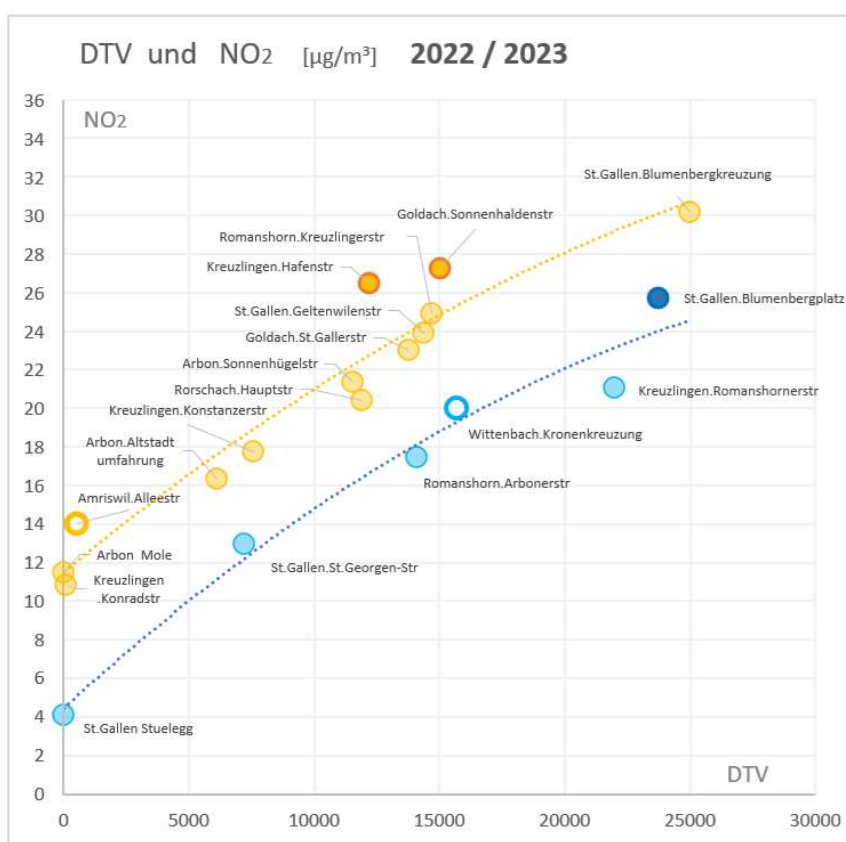


Abb. 9: Korrelation von durchschnittlichem Tagesverkehr (DTV) und NO₂-Konzentration (leere Kreise = nur ein Messjahr)

5.1.2 NO₂ mittlerer Tagesgang

An den NO₂-Online-Messstationen lassen sich neben den Jahresmittelwerten auch der saisonale Verlauf sowie der mittlere Tagesgang auf Stundenbasis ermitteln; diese Resultate sind in Abb. 10 dargestellt. Die Resultate sind als Mittelwerte für die verschiedenen Saisons angegeben. Abgesehen von den Hintergrundstationen verzeichnen alle Messstandorte während der morgendlichen und abendlichen Verkehrsspitzen die höchsten NO₂-Konzentrationen. Je nach Standort tritt das Tagesmaximum dabei entweder am Morgen oder am Abend auf. Bei den Hintergrundkonzentrationen gibt es einen Tagesgang mit nur einem Maximum, wobei dessen Zeitpunkt nach Jahreszeit variiert. Im Winter und im Herbst wird das Maximum am Abend erreicht, dies wahrscheinlich im Zusammenhang mit einem Anstieg der Inversionsgrenze im Tagesverlauf. Im Frühling und im Sommer steigen die Schadstoffe durch die morgendliche Erwärmung mit der Luftkonvektion auf und werden in höhere Lagen transportiert, weshalb das Maximum zur Mittagszeit liegt. Die Monatsmittelwerte der verschiedenen Messstationen in Abb. 10 rechts zeigen deutlich erhöhte NO₂-Konzentrationen in den kühleren Monaten. Hier sieht man die Effekte der Heizungen und der Temperaturinversion.

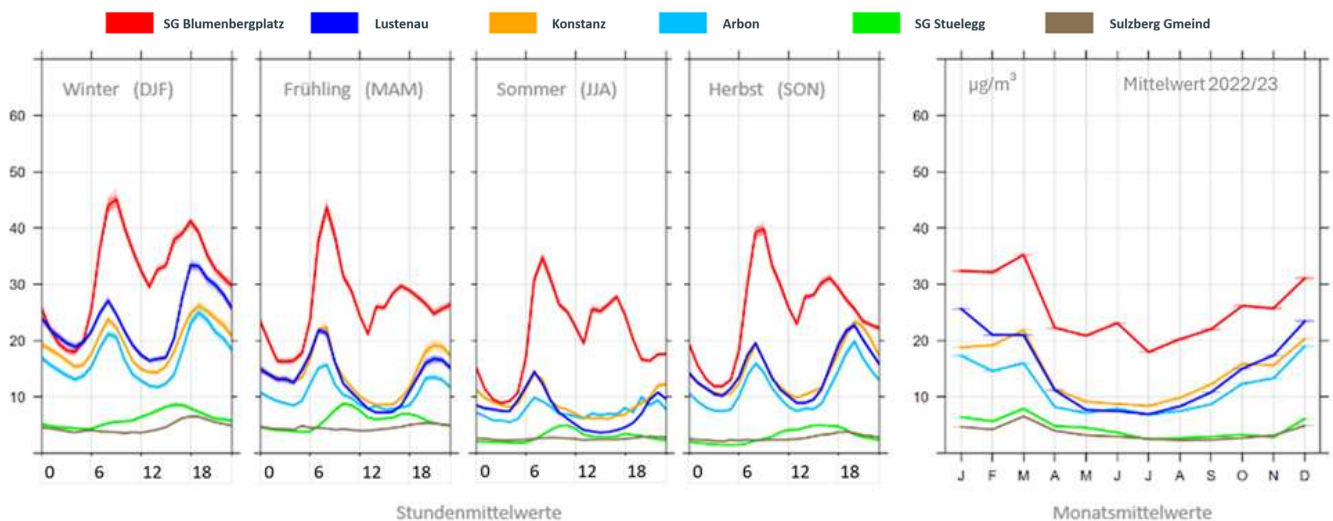


Abb. 10: links: Mittlere NO₂-Tagesgänge für die Messstationen mit einer NO₂-Onlinemessung, aufgeschlüsselt nach Saison
rechts: Monatsmittelwerte der NO₂-Konzentration gemittelt über beide Messjahre 2022 und 2023, Farbekodierung je Messort

5.1.3 NO₂ Passivsammler Langzeitmessreihen

In den Kantonen Thurgau und St. Gallen wird die NO₂-Belastung seit 1989, resp. 1990 mittels Passivsammlern erhoben. Die Messreihen für den gesamten Zeitraum und die wichtigsten Messstationen, aufgeteilt nach Kanton, sind in Abb. 11 dargestellt, die Messreihen für Stationen aus der Ostschweiz, gruppiert nach Verkehrsbelastung in Abb. 12. Um die Jahrtausendwende kann man einen Anstieg der NO₂-Konzentration beobachten, was durch das erhöhte Aufkommen an Dieselfahrzeugen begründet werden kann. Seit dem Dieselskandal, dessen politischen Auswirkungen (ca. ab 2016) und der Einführung von strengeren Abgasnormen sinken die NO₂-Konzentrationen an allen Messstandorten sukzessive.

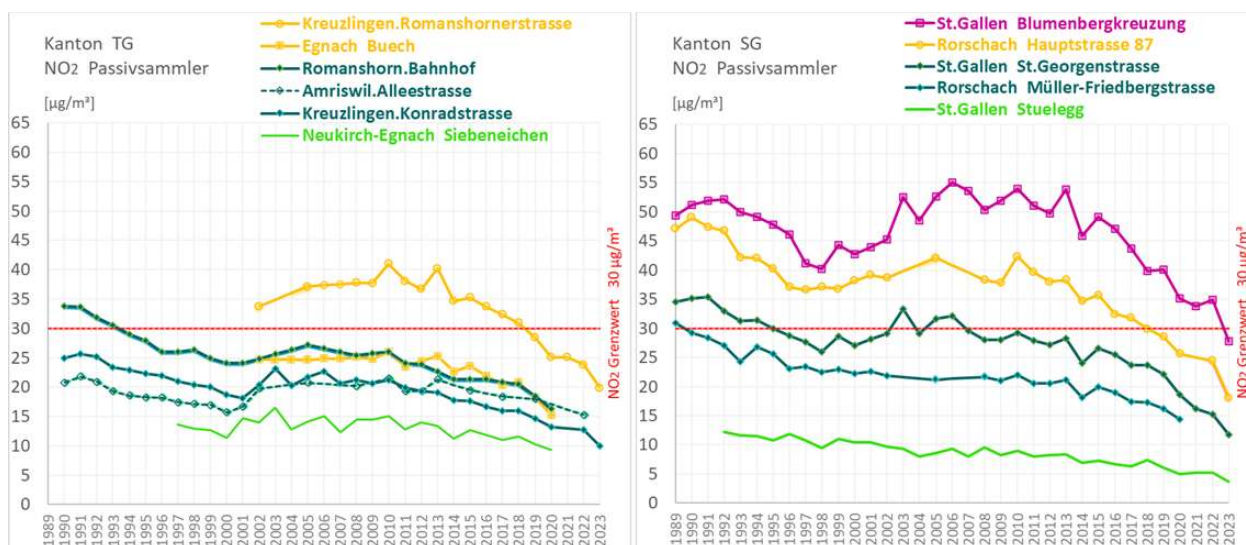


Abb. 11: NO₂-Passivsammelmessreihen links: aus den Kanton Thurgau und rechts: aus dem Kanton St. Gallen

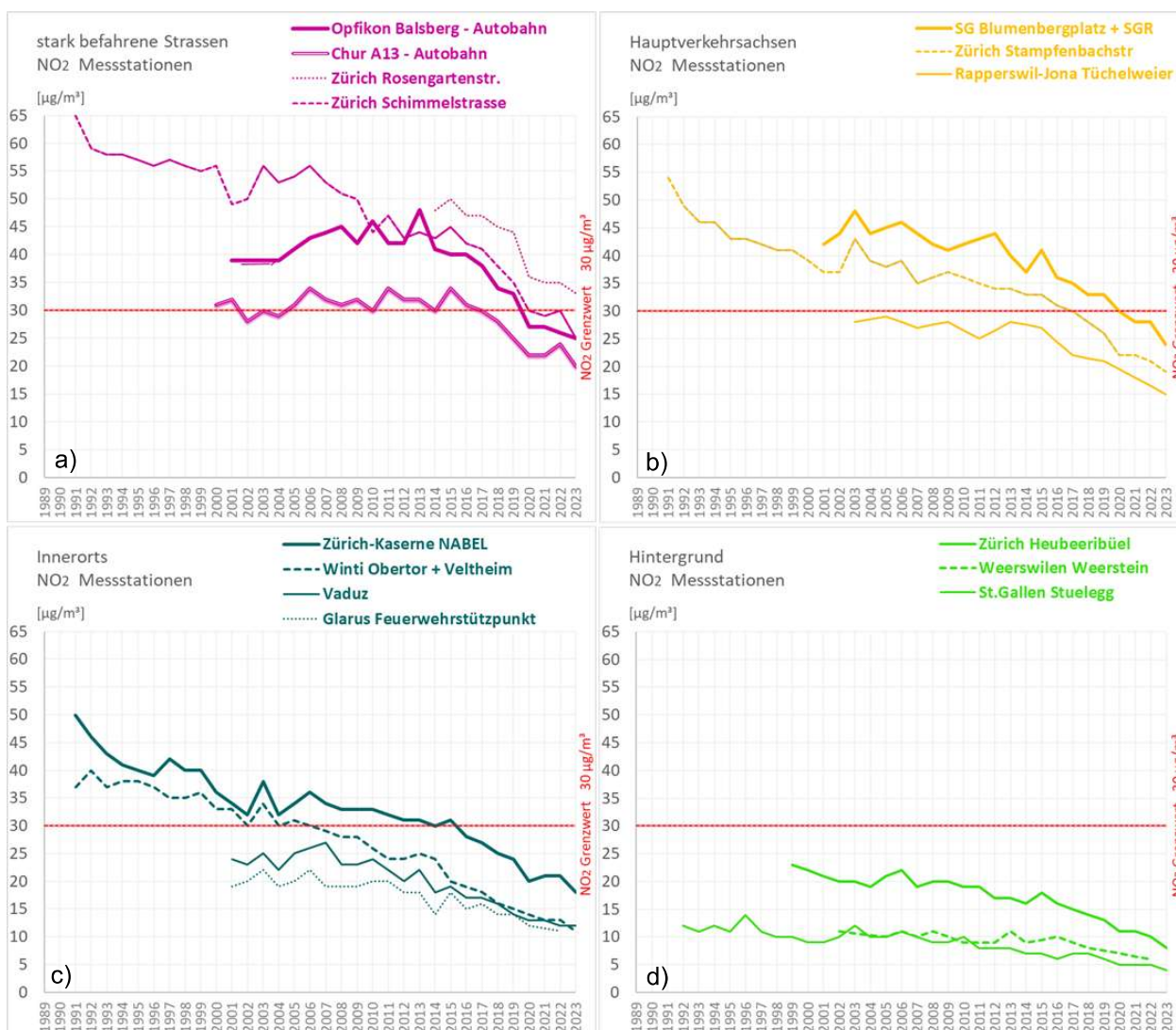


Abb. 12: NO₂-Messreihen von Messstationen aus der Ostschweiz, gruppiert nach den verschiedenen Verkehrsbelastungen; a) stark befahrene Strassen Hauptverkehrsachsen, b) Hauptverkehrsachsen, c) Innerorts, d) Hintergrundbelastung an erhöhten Standorten

5.2 Ozon (O₃)

In Abb. 13 ist der O₃-Tagesgang an verschiedenen Standorten dargestellt. Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den urbanen Stationen und den Höhenstationen. Dieser Unterschied hängt mit dem photochemischen Gleichgewicht zwischen NO₂, NO und O₃ zusammen ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). In urbanen Gebieten wird vom Morgenverkehr NO emittiert, welches Ozon in der Luft abbaut, wobei NO₂ entsteht ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). Zusammen mit flüchtigen organischen Komponenten (volatile organic compounds (VOC)), welche als Vorläufersubstanzen dienen und der Sonneneinstrahlung (hv) wird dann wieder O₃ produziert ($\text{NO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{VOC, hv}} \text{O}_3 + \text{NO}$), wobei auch das vorhandene NO₂ weiter zur O₃-Produktion beiträgt, bis am Nachmittag ein Maximum der O₃-Konzentration erreicht wird. In ländlichen Gebieten findet der O₃-Abbau am Abend bis zum Morgen, u.a. aufgrund geringer NO-Konzentrationen, nur beschränkt statt, weshalb um diese Tageszeiten die O₃-Konzentration in den ländlichen Gebieten im Vergleich mit den urbanen Gebieten bedeutend höher ist.

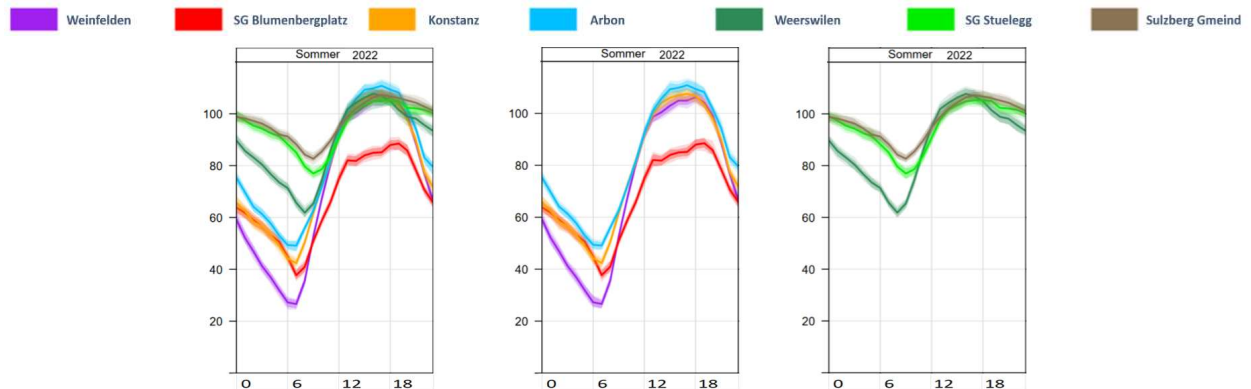


Abb. 13: O₃-Tagesgang im Jahr 2022 an allen Standorten (links) urbane Standorte (Mitte) und Höhenstandorte (rechts)

In der Schweiz gilt für die Ozonkonzentration ein Grenzwert von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³) für Stundenmittelwerte. In Abb. 14 sind die Grenzwertüberschreitungen für die Messstationen mit Ozonmessung angegeben. In den späten Abendstunden, über Nacht und in den Morgenstunden kommt es nur an den Höhenstandorten zu Grenzwertüberschreitungen. Die niedrigste Anzahl an Grenzwertüberschreitungen wurde am Blumenbergplatz gemessen, mit einem zeitlichen Schwerpunkt am Nachmittag. Neben dem Verkehr hat auch das Wetter einen starken Einfluss auf die O₃-Konzentration. Das wird ersichtlich, wenn man die beiden Messjahre miteinander vergleicht (siehe Abb. 15 a) und b)). Im Jahr 2022 hat es im Juli und August am meisten Grenzwertüberschreitungen gegeben und im Jahr 2023 im Juni. Die maximale Ozonkonzentration ist in den letzten Jahren stark gesunken. Im Messzeitraum 2022/2023 kam es kaum noch zu Werten über 160 µg/m³ und zu keinerlei Überschreitungen der Informationsschwelle (180 µg/m³) [2]. Neben dem Stundenmittelgrenzwert gibt es zur Beurteilung der Ozonbelastung einen 98% Perzentilwert, das bedeutet, dass nur 2% aller Ozonmesswerte über diesem Wert liegen. Dargestellt in der Abb. 15 c) sind die maximal belasteten Monate Juli 2022 und Juni 2023. Hier zeigt sich, dass die Ozonkonzentrationen an schönen Sommertagen

² www.ozon-info.ch

grossräumig sehr ähnlich sind, ausser am stark verkehrsbelasteten Standort St.Gallen Blumenbergplatz, wo sich Ozon mit dem vorhandenen Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO₂) umwandelt.

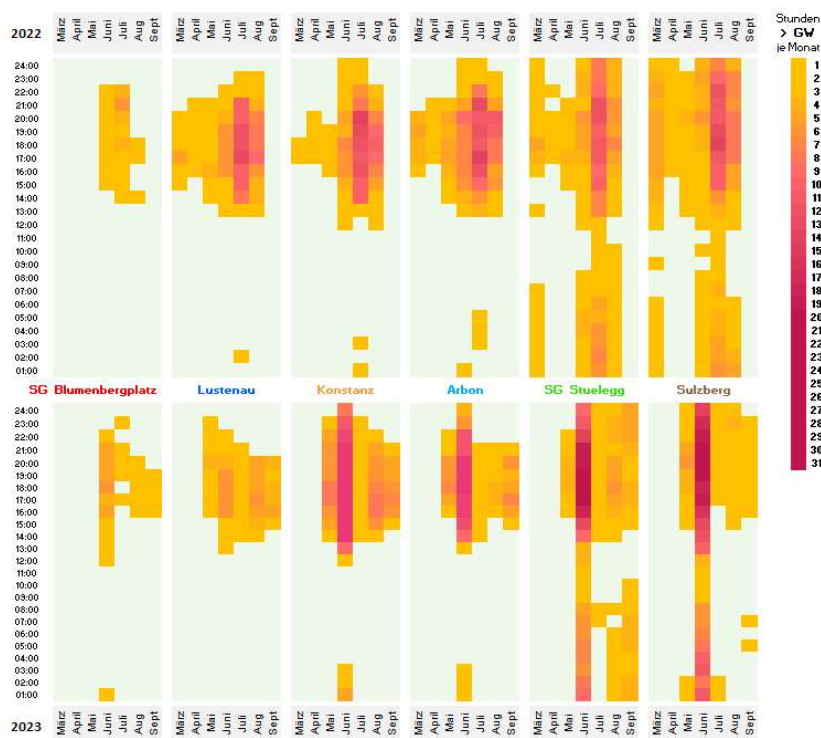


Abb. 14: O₃-Grenzwertüberschreitungen an verschiedenen Messstationen für die Jahre 2022 und 2023

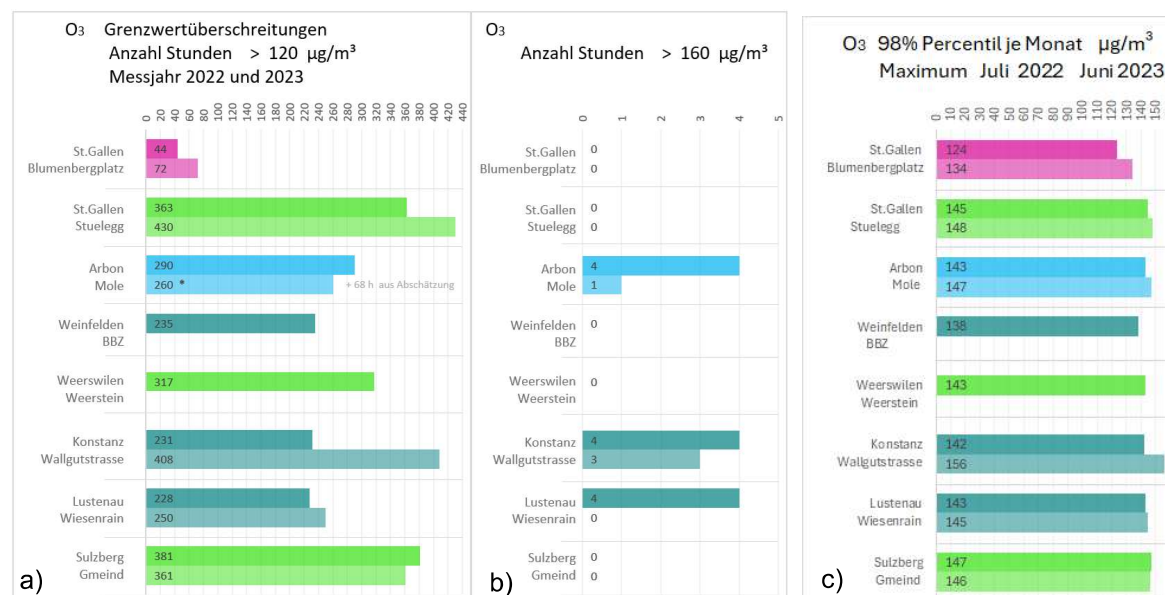


Abb. 15: a) Totale Anzahl Grenzwertüberschreitungen im Messjahr 2022 (oberer Balken) und 2023 (unterer Balken) je Messort - Arbon mit Messausfall Aug 2023, b) Ozonmesswerte über 160 µg/m³, c) 98% Perzentile der Maximale Ozonbelasteten Monate 2022 und 2023

5.3 Feinstaub (PM2.5)

5.3.1 PM2.5 Konzentrationen

Als PM2.5 werden Partikel bezeichnet, deren Durchmesser weniger als 2.5 µm (Mikrometer) beträgt. Durch die geringe Grösse sind die Partikel lungengängig, wobei die kleinsten Ultrafeinpartikel (UFP) auch weiter bis in die Blutbahnen vordringen können. Durch die Anreicherung von verschiedenen Stoffen auf der Partikeloberfläche ist es auch möglich, dass die Partikel als Träger für giftige / kanzerogene Substanzen fungieren, welche normalerweise nicht in den Körper gelangen. In der Schweiz ist für PM2.5 nur ein Grenzwert von 10 µg/m³ im Jahresmittel festgelegt. In Abb. 16 sind die Jahresmittelwerte und die maximale Tagesmittelwerte an den Messstationen mit Online-Messung dargestellt. Der Grenzwert von 10 µg/m³ für Jahresmittel wurde an keiner Station überschritten.

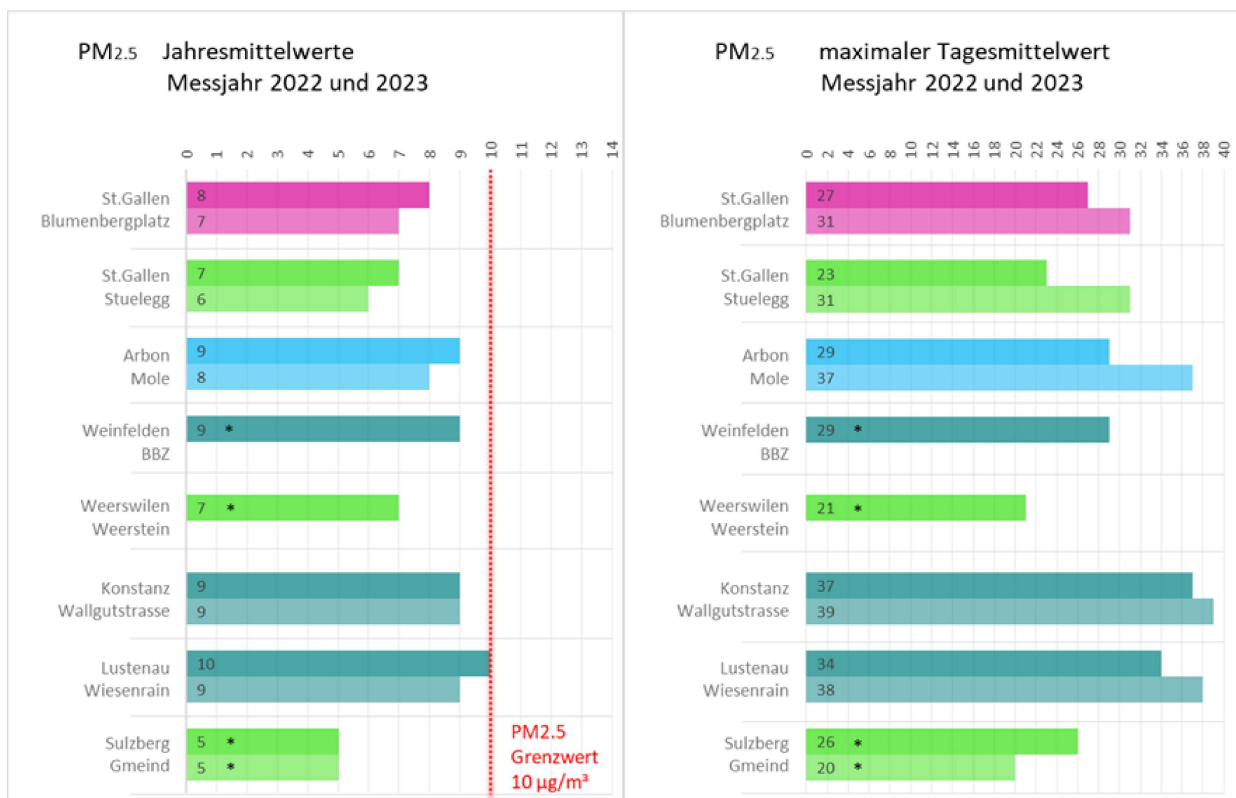


Abb. 16: a) Feinstaub PM2.5 Jahresmittelwerte, b) PM2.5 maximaler Tagesmittelwert (ohne Feuerwerk 1. Januar oder 1. August)

In Abb. 17 sind die Tagesverläufe der PM2.5-Konzentration an verschiedenen Messstellen dargestellt, sowie rechts die Monatsmittelwerte. Es zeigt sich eine saisonale Abhängigkeit mit erhöhten Konzentrationen während der kalten Jahreszeit. Das kann erklärt werden mit der erhöhten Heizaktivität und der Temperaturinversion, welche eine Anreicherung der Luftschadstoffe zur Folge hat. Auffallend ist der Tagesverlauf der Messstation Lustenau Wiesenrain (LuW). Die Messstation steht auf dem Rheindamm und liegt durch ihre leicht erhöhte Lage direkt in der Abluftfahne der Hauskamine. Die Heizaktivität am Abend und die Bodeninversionen sorgen dann für erhöhte PM2.5-Konzentrationen in den kalten Monaten.

Der Monat mit den höchsten PM_{2.5}-Konzentrationen ist der März. Die Dauer der Nacht im März ermöglicht bei klaren Verhältnissen weiterhin die Ausbildung ausgeprägter Bodeninversionen. Tagsüber erfolgt meist eine Schwächung oder Auflösung der Schichtung, während die verbreitete Trockenheit der Luft die Nebelbildung weitgehend unterbindet.

Bei Flachdrucklagen, meist mit Bisentendenz aber geringer Windgeschwindigkeit, kommt es zu Lufteströmungen aus Osten, z.T. auch aus Norditalien (siehe Abb. 18 und Abb. 19). Dabei wird Luftmasse ein transportiert, die Feinstaub (PM₁), eBC / Russ, aber auch Schwefeldioxid (SO₂), Ammonium (NH₄⁺) und Nitrat (NO₃⁻) enthält und zur Bildung von Sekundärfeinstaub in höheren Konzentrationen beiträgt. Dabei wichtig ist die Sonneneinstrahlung, welche zu dieser Jahreszeit bereits sehr kräftig ist und dadurch chemische Prozesse begünstigt, welche sekundärer Feinstaub bilden [3].

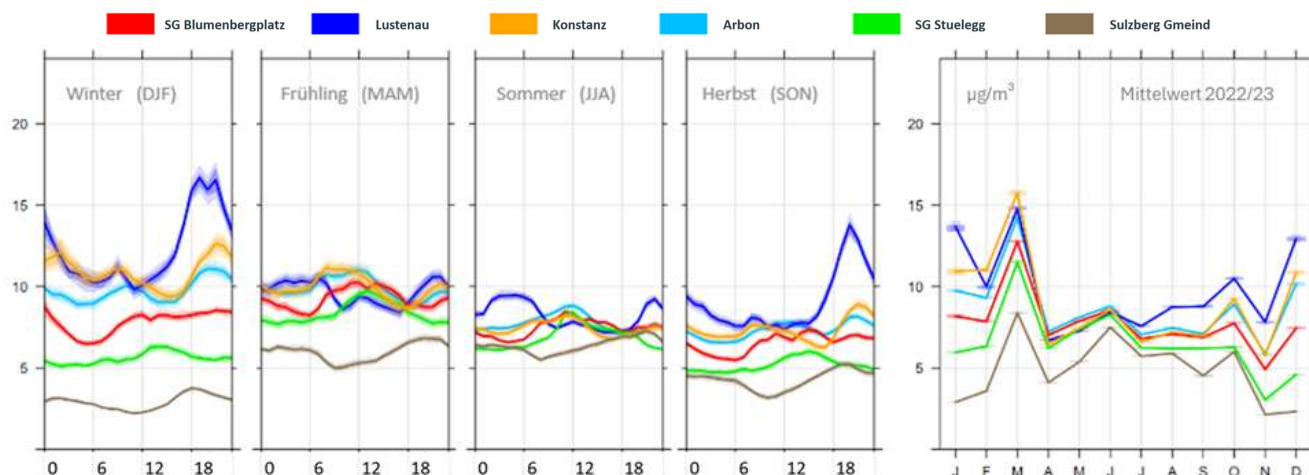


Abb. 17: Tagesverlauf der PM_{2.5}-Konzentration links: nach Saison und rechts: Monatsmittelwerte an den verschiedenen Messstationen



Höhe über Meer:



Abb. 18: Feinstaubimport aus Osteuropa im März 2022 (HYSPLIT-Simulation) Daten aus https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

³ Information von D. Gerstgrasser; Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

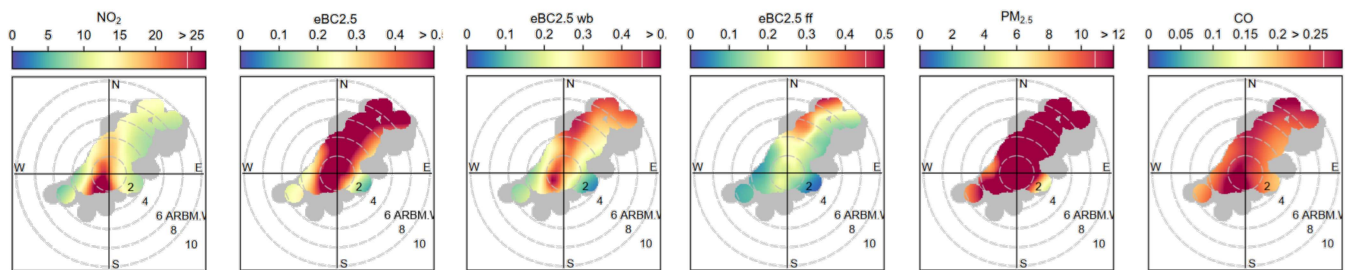


Abb. 19: Schadstoff Windrosen ARBM März 2022 (als Vergleich zu Winter- und Sommerbelastung in Kapitel 5.4)

5.3.2 PAH im PM2.5 Feinstaub

Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) sind aus mindestens zwei kondensierten aromatischen Ringen aufgebaut. Die im Rahmen dieser Analyse untersuchten Verbindungen bestehen ausschliesslich aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen (siehe Tab. 5). PAHs entstehen bei der unvollständigen Verbrennung biogener oder fossiler Brennstoffe, dabei kommt der Grossteil der PAH-Belastung von Emissionen aus Holzheizungen, weniger aus Emissionen vom Verkehr und industriellen Anlagen. Kleinere PAH-Moleküle sind teilweise in gasförmigem Zustand in der Atmosphäre vorhanden und werden darum nicht vollständig auf den Probennahmefilter gesammelt (markiert mit eckiger Klammer in Tab. 5). Die grösseren PAHs ab fünf Ringen sind partikelgebunden. Wegen ihrer kanzerogenen und mutagenen Wirkung stellen PAHs eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar [4]. In der Schweiz gibt es keinen Grenzwert, da aber PAHs kanzerogen sind, gilt das Minimierungsgebot. Zur Bewertung der Toxizität wird für die einzelnen PAK-Komponenten ein Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF) relativ zu Benzo[a]pyren (BaP) angewandt. In der Tab. 5 sind die PAHs nach aufsteigendem TEF geordnet.

Verbindung	Fluoranthen	Pyren	Chrysen	Benzo(ghi)perylen	Benz(a)anthracen	Benzo(b)fluoranthen	Benzo(j)fluoranthen	Benzo(k)fluoranthen	Indeno(1,2,3,cd)pyren	Dibenzo(ah)anthracen	Benzo(a)pyren
Abkürzung	[FA]	[Py]	[Chr]	BghiP	[BaA]	BbF	BjF	BkF	Indeno	DahA	BaP
Strukturformel											
TEF	0.001	0.001	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1

Tab. 5: Liste der analysierten PAHs geordnet nach steigendem TEF (Eine analytische Differenzierung zwischen BbF und BjF ist nicht möglich, darum sind sie in den folgenden Auswertungen als Summe aufgeführt)

Die wichtigste Quelle der PAH-Emissionen in der Schweiz sind Holzfeuerungen, weshalb für das Projekt Bodensee nur Filter aus den Wintermonaten analysiert wurden. Die Resultate der PAH-Messungen sind in Abb. 20 und Abb. 21 dargestellt. Im Bodenseegebiet wurden die höchsten Konzentrationen in Goldach gemessen, schweizweit sind die BaP-Konzentrationen in San Vittore am höchsten. Dieser Messstandort liegt im Talboden, nahe am Berghang, in windstiller Lage und in einer Region mit vielen Holzheizungen.

In Abb. 20 sind die gemessenen Konzentrationen verschiedener PAHs für die beiden Messjahre dargestellt. Die Resultate der beiden Jahre unterscheiden sich stark und können mit der Witterung und der Anzahl Inversionstage erklärt werden. Obwohl die leichtflüchtigen PAK teilweise in höheren Konzentrationen vorliegen, leisten sie nur

⁴ IARC (2013) https://publications.iarc.fr/_publications/media/download/3702/599178c77c005eb1852285d36361b2612c6840ec.pdf

einen geringen Beitrag zur Gesamtoxizität bzw. Kanzerogenität der untersuchten Quartalsproben. In Abb. 21 wird ersichtlich, dass BaP für über 60 % zur Toxizität beiträgt. Die Hauptquelle von BaP ist die Holzverbrennung.

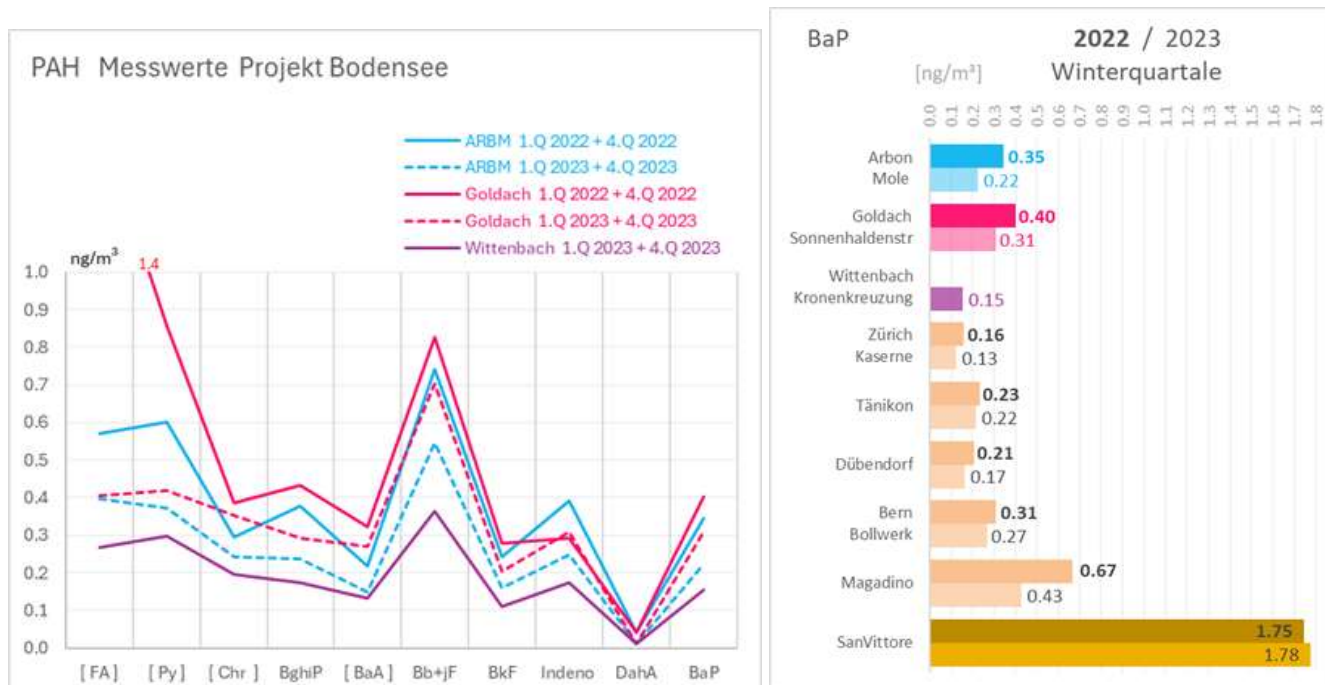


Abb. 20: links: Gemessene Konzentrationen unterschiedlicher PAH Substanzen an den Bodensee-Standorten, rechts: Vergleich der BaP-Konzentration mit Messstation in der ganzen Schweiz, oberer Balken 2022, unterer Balken 2023

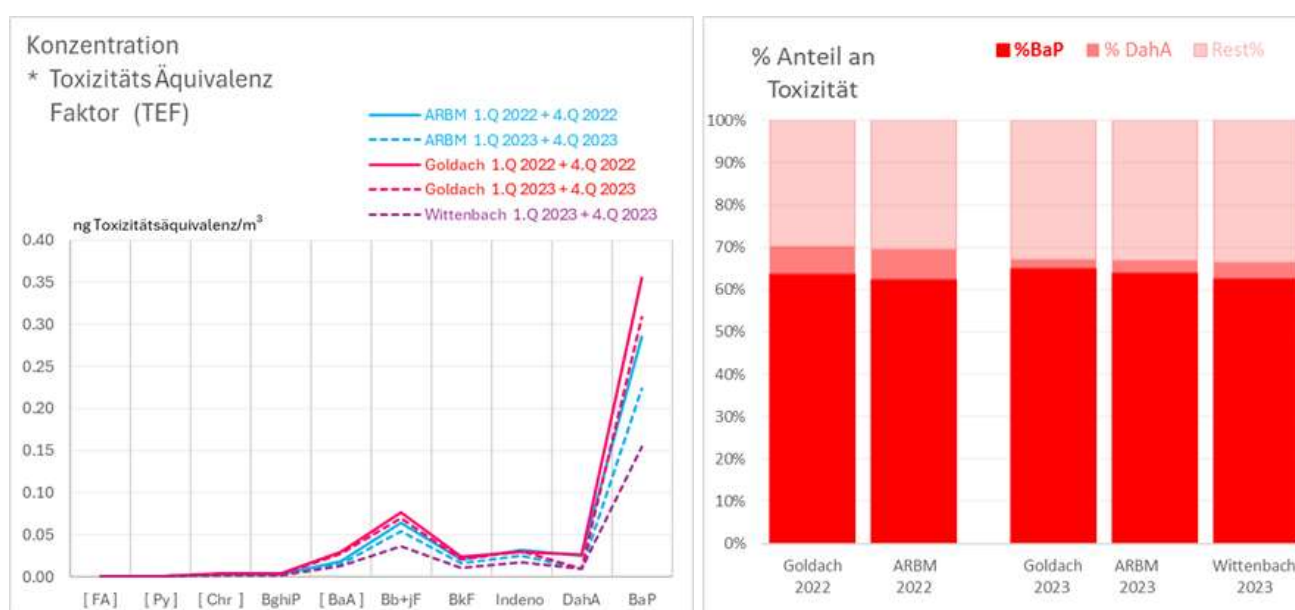


Abb. 21: Beitrag zur Toxizität berechnet aus TEF vom jeweiligen PAH

5.3.3 eBC im PM2.5 Feinstaub

Russ ist keine chemisch eindeutig definierte Substanz. Er kann aber durch Lichtabsorption oder Reflexion online als Black Carbon (BC) gemessen werden. Das Referenzverfahren ist die Verbrennung von Russ als thermooptisches Verfahren (EC TOT Eusaar 2). Mit einem definierten Temperaturprotokoll wird ein definiertes Stück Quarzfaserfilter aufgeheizt und gleichzeitig durchstrahlt ein Laser den Filter, um die auftretende Verkohlung der leichter flüchtigen organischen Verbindungen rechnerisch zu korrigieren. Der gesamte Kohlenstoff wird zum Schluss zu CO₂ und anschliessend zu Methan umgesetzt und gemessen. Die optische BC-Messung wird auf das Referenzfahren bezogen. Die daraus umgerechneten BC-Werte werden als eBC bezeichnet (equivalent BC bzw. äquivalenter schwarzer Kohlenstoff).

Russ ist krebserregend, die Konzentration von Russ in der Aussenluft sollte daher auf ein möglichst tiefes Niveau reduziert werden. Gemäss der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL) sollte die Russbelastung im bevölkerungsgewichteten jährlichen Mittel 0.1 µg/m³ nicht übersteigen, damit ein ausreichender Gesundheitsschutz für die Bevölkerung gewährleistet ist. An stark belasteten Standorten sollte dabei die Russkonzentration im Jahresmittel nicht höher als 0.2 bis 0.3 µg/m³ sein. [5]

Die eBC-Konzentrationen für die Messstationen Goldach, St. Gallen Blumenbergplatz, Wittenbach (alle an stark befahrenen Strassen), Weinfelden Berufsbildungszentrum (innerorts) und Arbon Mole sind in Abb. 22 dargestellt. Die Daten der Jahre 2022 und 2023 sind in zwei separaten Grafiken dargestellt, wobei die Jahreswerte zusätzlich in Sommer- und Winterhalbjahre unterteilt wurden. Die höchsten Werte werden an der stark befahrenen Strasse in Goldach und die tiefsten Messwerte in Arbon auf der Mole gemessen. An allen Stationen reduzierte sich die eBC-Konzentration im zweiten Messjahr, wobei 2023 die Unterschiede zwischen Winter- und Sommerhalbjahr weniger prägnant waren. Alle Messwerte der Stationen an stark befahrenen Strassen liegen klar über der angestrebten Konzentration von 0.2-0.3 µg/m³, auch die Hintergrundkonzentrationen liegen weit über dem angestrebten Wert von 0.1 µg/m³. Die gemessenen eBC-Tageskonzentrationen sind Wetter- und vor allem Inversionsabhängig und unterliegen deshalb starken Schwankungen (siehe Abb. 23).

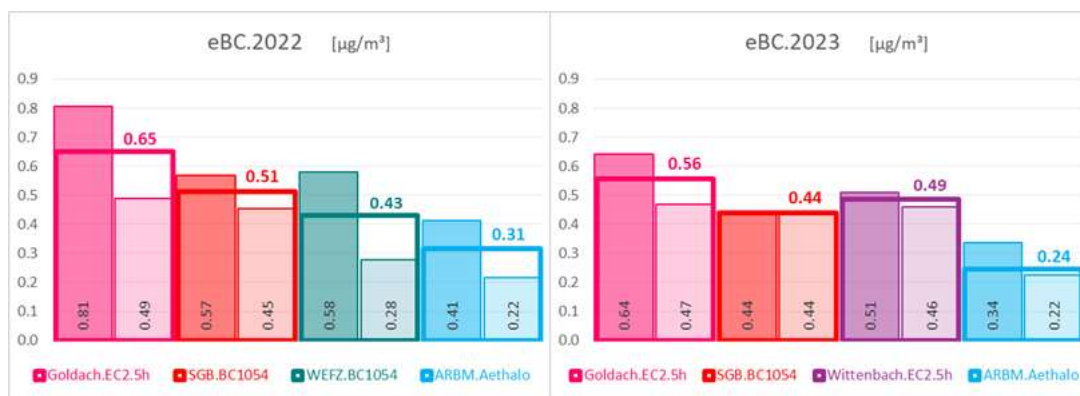


Abb. 22: eBC-Konzentrationen an 5 Messstandorten in den Jahren 2022 und 2023; Winterhalbjahr dunkel, Sommerhalbjahr hell; Jahresmittelwert als Rahmen über beiden Balken BC1054 / Aethalometer = Online-Messgerät; h = Hivol Tagesmittelwerte

⁵ Feinstaub in der Schweiz 2013 EKL https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/Feinstaub_in_der_Schweiz_2013.pdf



Abb. 23: eBC-Tagesmittelwerte an den fünf Messtandorten; dunkel: Winter (Probenahme alle vier Tage, um möglichst viele Filter bei Inversionslagen sammeln zu können), hell: Sommer (Probenahme alle zwölf Tage)

In Abb. 24 wird der Tagesverlauf der eBC-Konzentration am Standort Arbon verglichen mit den beiden Standorten Weinfelden (innerorts) und St. Gallen Blumenbergplatz (stark befahrene Strasse). Der Messstandort in Weinfelden liegt im Wohnquartier und wird hauptsächlich beeinflusst durch die Heizungen und teilweise von der 300 m entfernten Umfahrungsstrasse. Der Blumenbergplatz ist ein typischer Strassenstandort mit hohen Messwerten zur Hauptverkehrszeit. In der Nacht werden aber ähnliche Konzentrationen gemessen wie in Arbon. In Arbon wird vor allem am Abend ein deutlicher Anstieg der eBC-Konzentration gemessen. Dieses Phänomen kann durch die Windrichtung erklärt werden. Am Abend wird die Abluft der Heizungen von Arbon mit Südwestwind und geringer Windgeschwindigkeit zur Messstation getragen, wodurch der Messstandort auf der Mole gleich stark belastet wird wie der Dorfkern. Am späteren Morgen dreht die Windrichtung in Richtung See und führt zu tieferen Messwerten. Ohne Einfluss der Heizungen und mit besserer Durchlüftung hat Arbon im Sommer kaum einen Tagesgang.

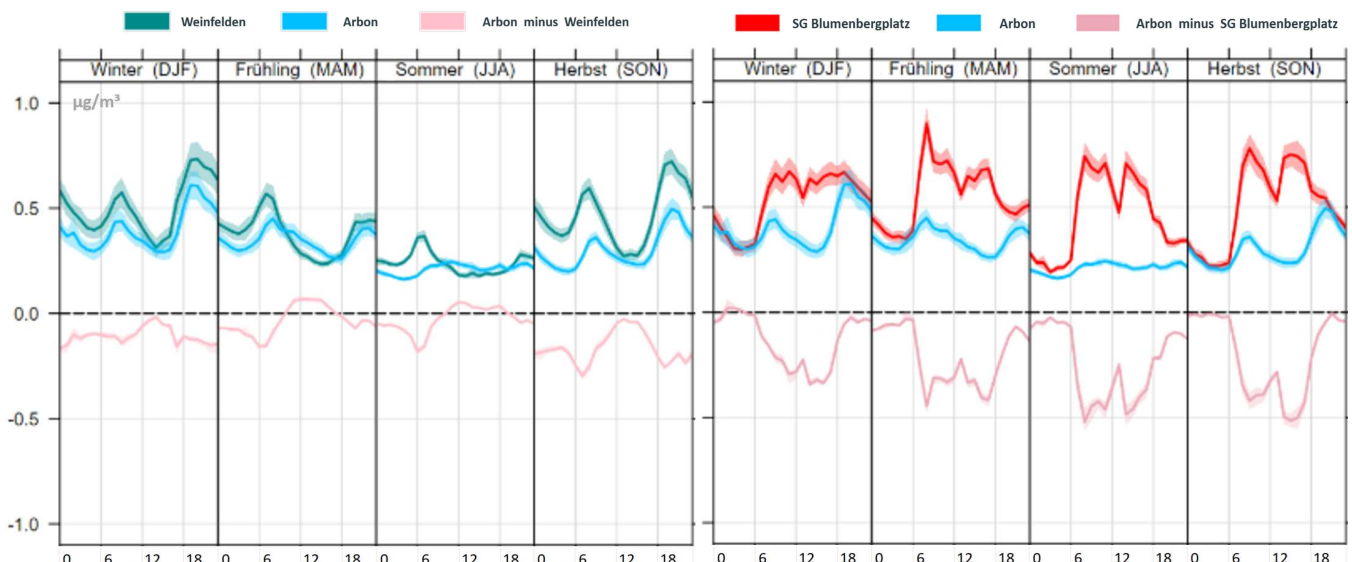


Abb. 24: Tagesverlauf der eBC-Konzentration pro Saison und Differenz zu weiteren Messorten Messjahr 2022; links: Vergleich vom Standort Arbon Mole mit dem Standort Weinfelden, rechts: mit dem Standort St. Gallen Blumenbergplatz

In Arbon kann dank dem Einsatz eines Aethalometers bei blauem und rotem Licht gemessenem BC eine rechnerische Unterscheidung von Russ aus Biomasse-, hier Holzverbrennung (wb = wood burning) und fossilen Brennstoffen (ff = fossil fuel) gemacht werden. Der vom Messgerät berechnete Anteil aus der Holzverbrennung ist ein guter Indikator, der allerdings nicht für Kurzzeitmesswerte verwendet werden kann. Aus diesem Grund enthält die Grafik in Abb. 25 mit den daraus berechneten Konzentrationen von eBC.wb und eBC.ff Stundenmittelwerte, aufgeteilt je Saison als Mittelwerte aus 2022 und 2023.

Die eBC-Konzentration durch Verbrennen von fossilen Brennstoffen (eBC.ff) schwankt nur leicht über das gesamte Jahr. Der Anteil aus Holzverbrennung (eBC.wb) ist hingegen stark temperaturabhängig und in den Wintermonaten am grössten. Die hohen Messwerte im März lassen sich analog zu den PM_{2.5}-Konzentrationen mit dem Import von schadstoffbelasteter Luft aus Osteuropa erklären (siehe Kapitel 5.3.1).

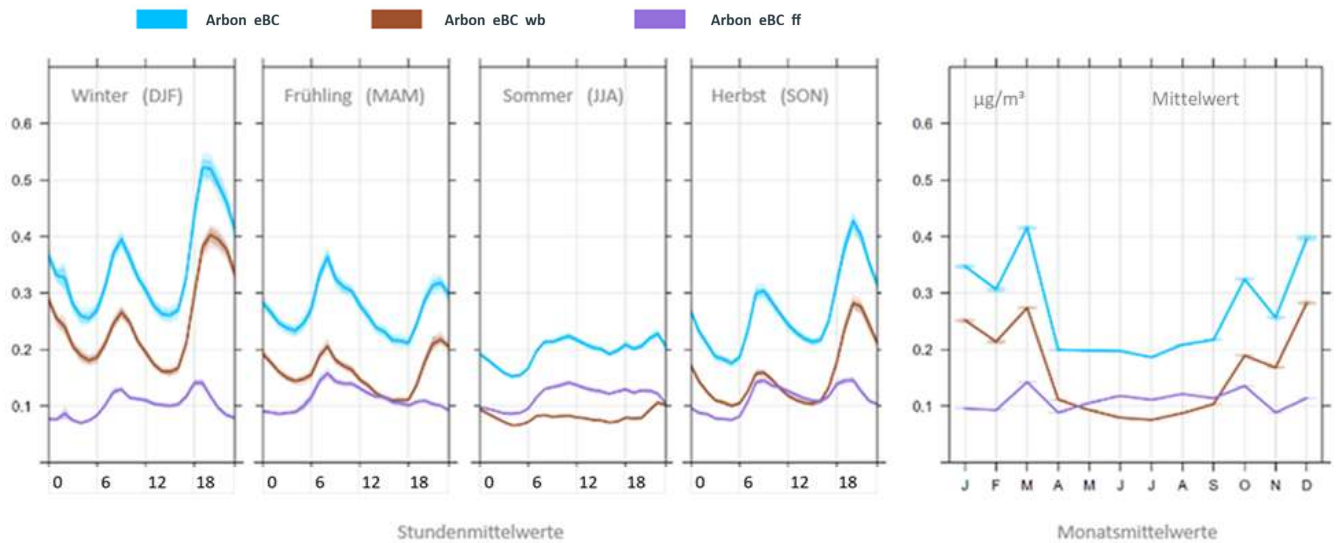


Abb. 25: Tagesgang (links) und Monatsmittelwert (rechts) der eBC-Konzentration in Arbon je Saison als Mittelwert aus Messjahr 2022 und 2023; hellblau: totale eBC-Konzentration, braun: eBC.wb aus Holzverbrennung und violett: eBC.ff aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen

Um die eBC-Konzentrationen im Jahresgang detailliert zu zeigen, ist in Abb. 26 der mittlere Tagesgang je Kalenderwoche dargestellt. Der Witterungseinfluss zeigt sich in einzelnen Kalenderwochen deutlich; so führen beispielsweise niederschlagsreiche Perioden zu markant niedrigeren Messwerten. Trotzdem ist der Jahresgang mit den um Stufen tieferen Konzentrationen bei Winter und Sommer eBC-Konzentrationen am Abend in Arbon und Weinfelden gut erkennbar. Im Gegensatz dazu sind die eBC-Konzentrationen bei St.Gallen Blumenbergplatz, bis auf den deutlichen Inversionseinfluss in KW10 und KW50, hauptsächlich vom Verkehr beeinflusst und nur wenig von Holzheizungen.

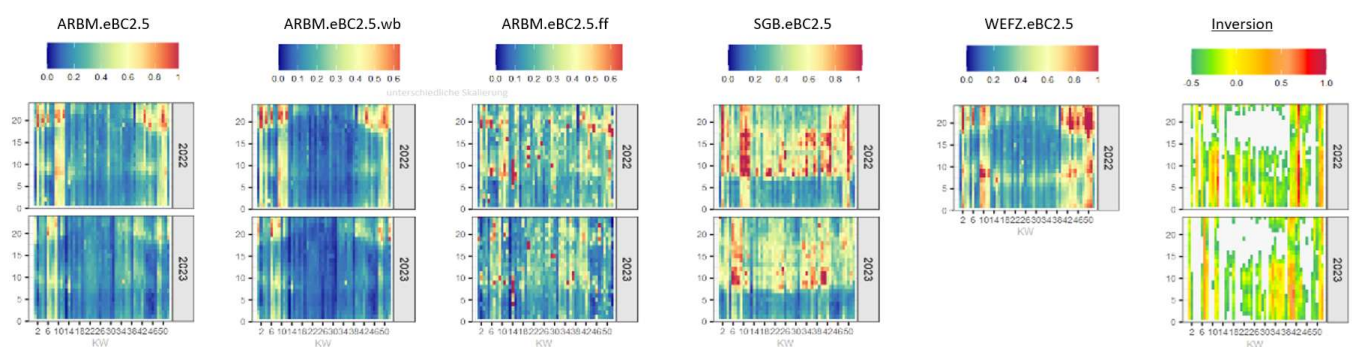


Abb. 26: Mittlerer Tagesgang je Kalenderwoche und Messjahr, bei Messorten mit eBC Online Messung, Arbon mit Unterscheidung eBC, eBC.wb, eBC.ff und Inversionsberechnung von St.Gallen Stuelegg zu Arbon Mole

Der Anteil der eBC-Partikel an der PM2.5-Konzentration ist in Abb. 27 dargestellt. An der stark befahrenen Strasse am Blumenbergplatz in St.Gallen liegt er bei ca. 6.5 %, in Arbon bei ca. 3.1 %. Im Winter ist der Anteil bei allen Stationen höher als im Sommer.

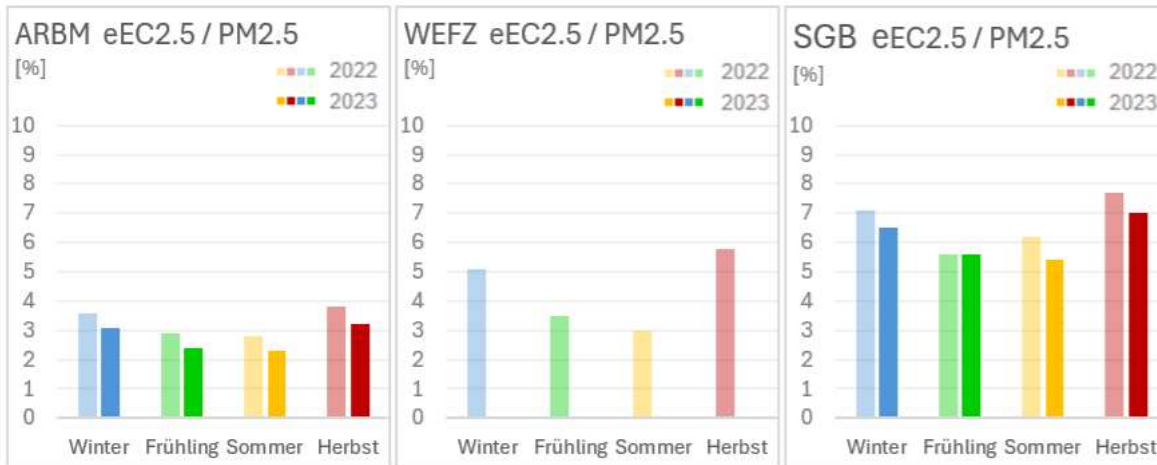


Abb. 27: eBC-Anteil in % an der PM2.5-Konzentration für die drei Messstationen Arbon, Weinfelden und St. Gallen Blumenbergplatz, Messjahre 2022 und 2023

5.4 Zusammenfassung aller Schadstoffe Messstation Arbon Mole

In Abb. 28 bis Abb. 31 sind alle Messwerte an der Messstation Arbon Mole zusammengefasst. Im Herbst und im Winter gibt es jeweils ein Morgen- und Abend-Maxima bei den Schadstoffen NO₂, eBC2.5, eBC2.5.wb und CO , wobei das Abend-Maxima etwas höher ist. Im Frühling sind die Maximalwerte weniger stark ausgeprägt und im Sommer kaum ersichtlic. Beim PM2.5 gibt es kaum und beim eBC.ff keine grossen Unterschiede im Tagesgang und wenige Unterschiede je Saison. Zu einer Temperaturinversion kommt es zu allen Jahreszeiten am Morgen, im Herbst und im Winter ist sie nur am Abend vorhanden.

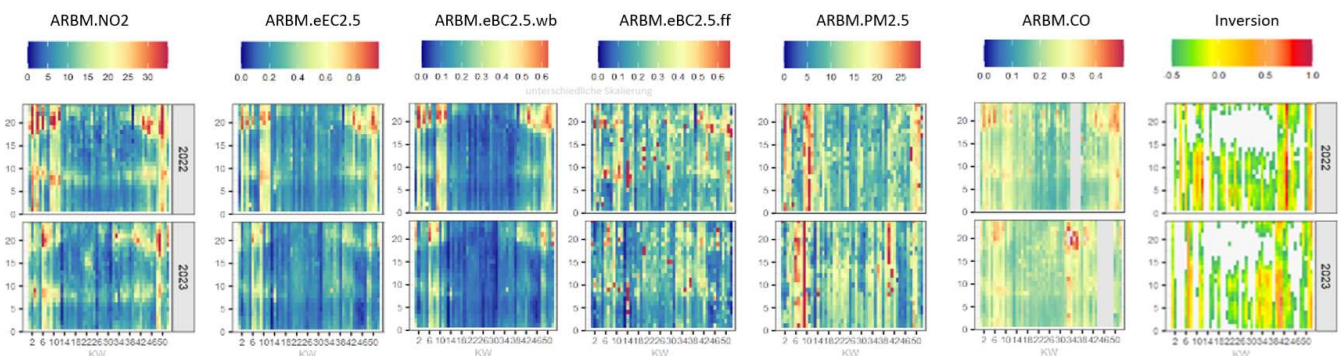


Abb. 28: Übersicht über alle gemessenen Schadstoffe an der Messtation Arbon Mole; Tagesgänge je Kalenderwochen und Messjahr

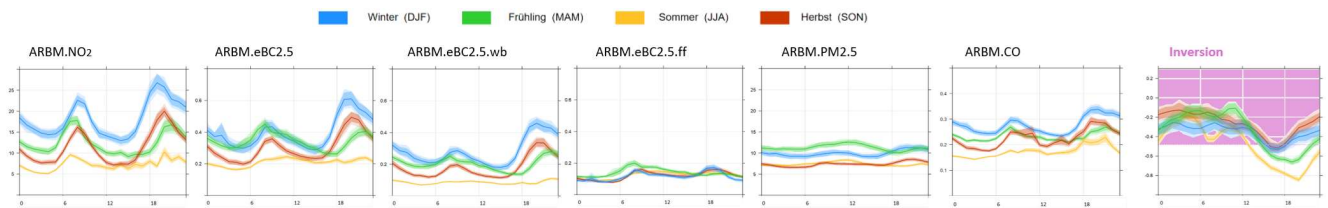


Abb. 29: Übersicht über alle gemessenen Schadstoffe an der Messtation Arbon Mole; mittlerer Tagesgang je Saison 2022 / 2023

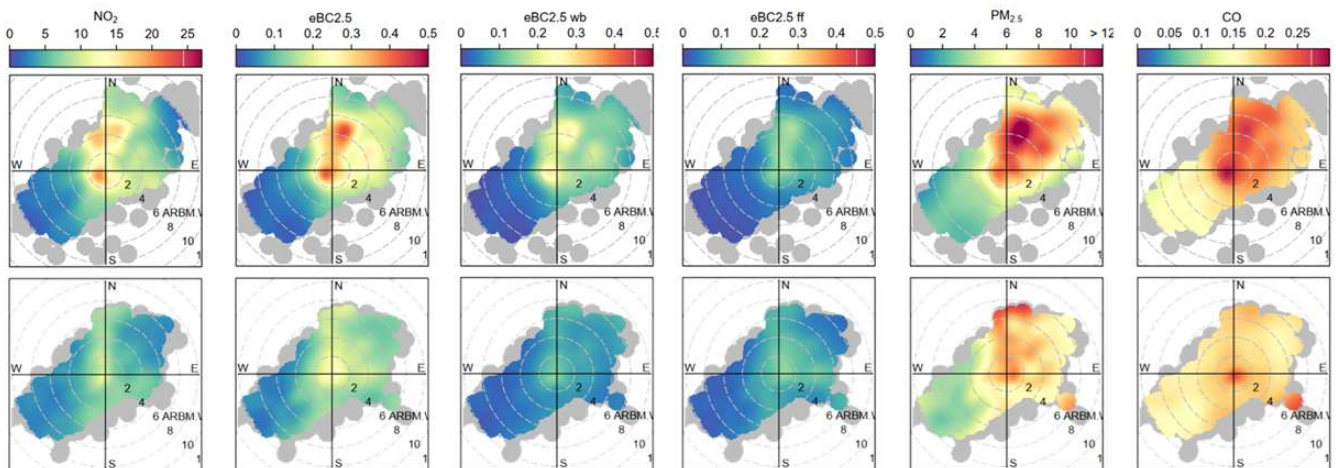


Abb. 30: Schadstoffwindrosen an der Messtation Arbon Mole Mittelwert der beiden Messjahre 2022 und 2023; oben: Winter (Sept bis Feb), unten: Sommer (März bis Aug) ohne März 2022

Im Winter kommt die höchste Schadstoffbelastung aus nördlicher / östlicher Richtung, im Sommer eher aus nördlicher Richtung oder mit hohen Messwerten bei Inversionslagen und sehr geringer Windgeschwindigkeit. Der März 2022 mit viel höherer Belastung mit zusätzlichen Schadstoffimport aus Osteuropa ist nicht eingerechnet worden.

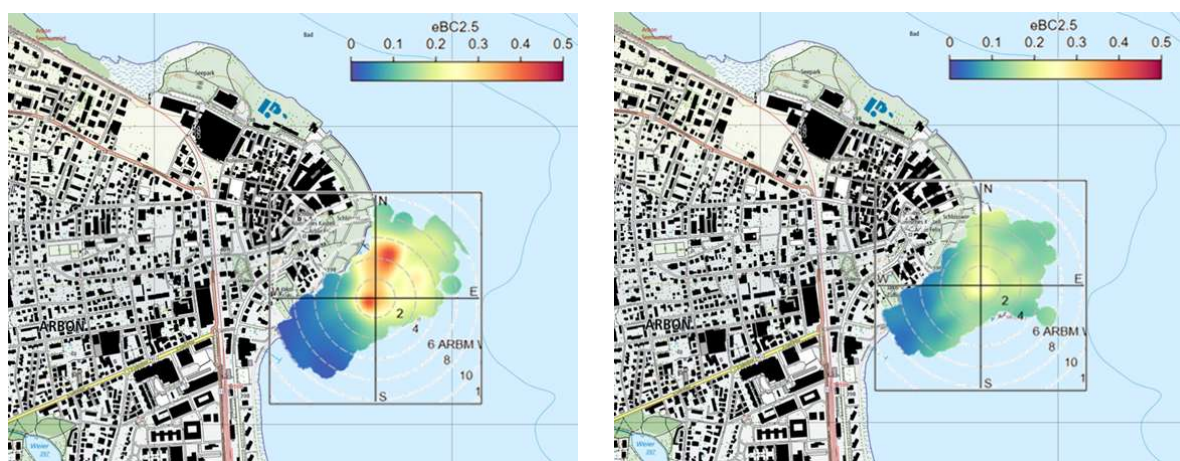


Abb. 31: Schadstoffwindrosen von eBC der beiden Messjahre 2022 und 2023 visualisiert auf der Landkarte von Arbon; links: Winter (Okt bis Feb), rechts: Sommer (März bis August) ohne März 2022, Kreis entspricht der Windgeschwindigkeit

5.5 Oldtimertreffen 2022

Anhand des Oldtimertreffens vom Mai 2022 lässt sich die Auswirkung eines punktuellen Grossereignisses auf die lokalen Immissionswerte aufzeigen. Die Luftbelastung am Eventwochenende kann mit dem darauffolgenden Wochenende verglichen werden, da in etwa die gleichen Witterungsbedingungen vorgeherrscht haben. Die Meteodaten in Abb. 32 zeigen, dass es an beiden Wochenenden von Freitag auf Samstag geregnet hat, gefolgt von schönem Wetter mit wenig Wind.

Der Verlauf der Russ- und Partikelkonzentration (Partikel zwischen 180 nm und 18 µm Durchmesser) über beide Wochenenden ist in Abb. 33 dargestellt, der Verlauf der Partikelkonzentration der ultrafeinen Partikel (UFP) und deren Grössenverteilung während dem Oldtimertreffen in Abb. 34 und Abb. 35. Während des Veranstaltungswochenendes lag die Partikelkonzentration durchgehend über dem Niveau des Referenzwochenendes. Mehrere Einzelereignisse verursachten starke Russ-Anstiege. Auch nach deren Abklingen lag die Hintergrundbelastung über dem Niveau des darauffolgenden Wochenendes. Ein ähnliches Bild zeigt der Verlauf der Konzentration der ultrafeinen Partikel. Kurzzeitig wurde eine Konzentration von bis zu 20'000 Partikel pro cm³ gemessen, obwohl der Abstand zwischen Messstation Ausstellungsgelände über 170 m Luftlinie beträgt.



Abb. 32: Vergleich der Witterung an den beiden verglichenen Wochenenden. links: Veranstaltungswochenende; rechts Vergleichswochenende



Abb. 33: Elemental Black Carbon Verlauf (eBC, schwarz) und Summe der Partikelkonzentration Fidas von 180 nm bis 18 µm (olive) am Wochenende vom Oldtimertreffen (links) und vom darauffolgenden Wochenende (rechts)



Abb. 34: Verlauf der Partikelkonzentration der ultrafeinen Partikel am Wochenende vom Oldtimertreff (links) und für das folgende Wochenende (rechts)

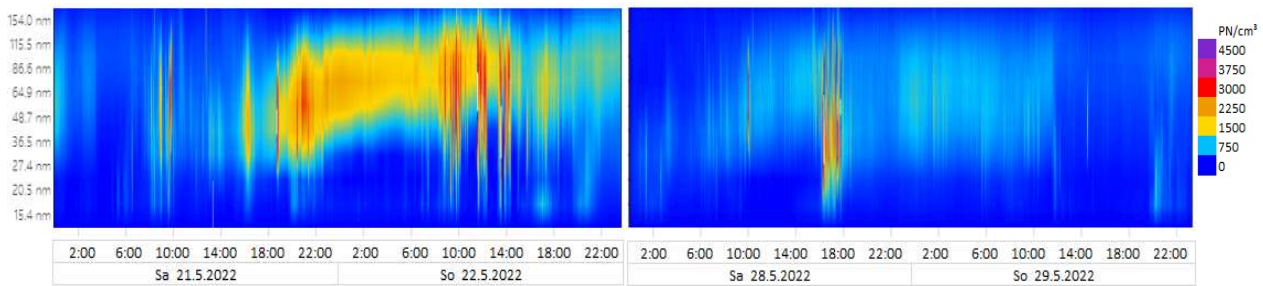


Abb. 35: Verlauf und die Grössenklassenverteilung ultrafeinen Partikel (NanoScan 3910) am Wochenende vom Oldtimertreffen (links) und vom darauffolgenden Wochenende (rechts)

5.6 Partikelanzahl Konzentration Partector 2 Pro

Neben den etablierten Messgeräten wurde parallel auch der Partector 2 Pro getestet, wodurch die Messung der Partikelgrössenverteilung im UFP-Bereich möglich war (siehe Abb. 36). Das Gerät lief von April 2023 bis Dezember 2023, weshalb nur eine halbquantitative Auswertung der PN-Belastung für das Jahr 2023 möglich ist. In Abb. 37 werden jeweils für die Sommer- und die Wintermonate die Durchschnittswerte der Tagesverläufe angezeigt. Die Heizungen im Winter führen hauptsächlich zu Emissionen von Partikeln die kleiner sind als 185 nm.

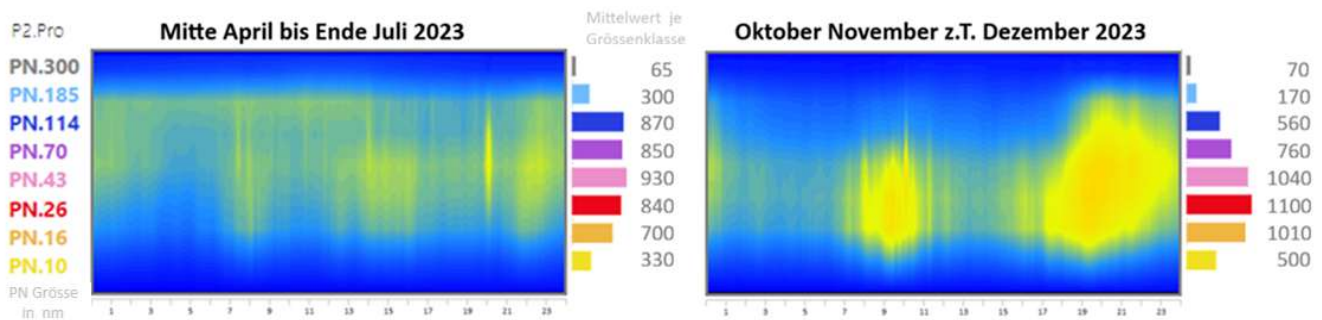


Abb. 36: mittlerer Tagesgang der PN Grössenklassenverteilung Messjahr 2023 z.T. Sommer (links) und Winter (rechts)

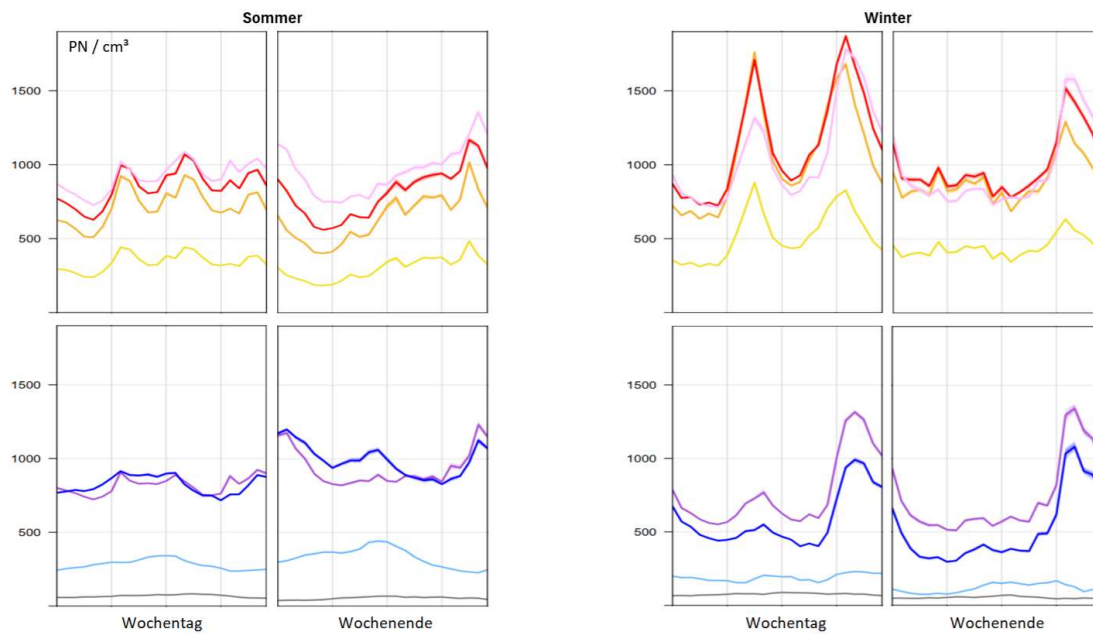


Abb. 37: mittlerer Tagesgang für alle acht Grössenklassen Messjahr 2023 Sommer (linke Seite) und Winter (rechte Seite) mit Unterscheidung Wochentag (jeweils links) und Wochenende (jeweils rechts)

6 Zeitliche Entwicklung der Messwerte

Die ersten Online-Messungen vom Amt für Umwelt Thurgau in Arbon beim Quai von 1990 waren nur stichprobenartige Messungen mit einer Dauer von sieben bis 13 Tagen. Zwar fanden die Messungen in vier verschiedenen Jahreszeiten statt, aber durch die Kürze der Messzeit sind die Resultate stark witterungsabhängig. Diese Messungen liefern interessante Anhaltspunkte, sind jedoch aufgrund der kurzen Messdauer nicht mit den regulären Jahresmittelwerten vergleichbar. Seit 1990 fanden in Arbon an drei Orten Online-Messungen mit Messstationen statt und bei der evangelischen Kirche wurden NO₂-Passivsammler exponiert. Die Resultate sind in Abb. 38 und Abb. 39 dargestellt. Die Eröffnung der Rosengartenstrasse (inkl. Tunnel entlang der Bahngeleise) im Oktober 2013 führte zu einer deutlichen Verkehrsberuhigung in der Altstadt.



Abb. 38: Jahreswerte von verschiedenen Messorten in Arbon im Vergleich zu LRV-Grenzwerten

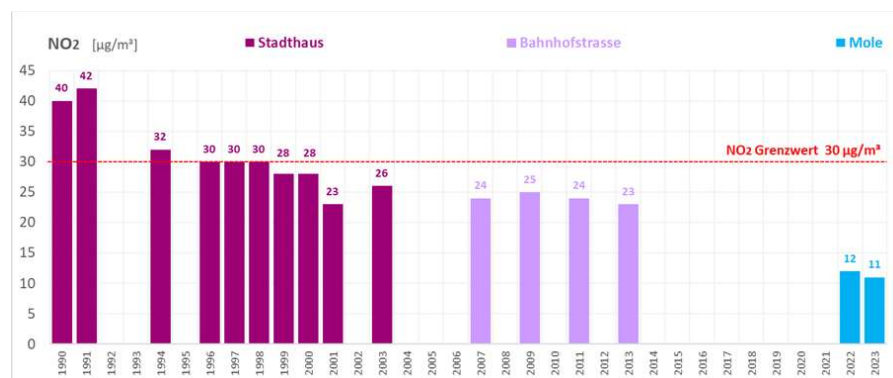
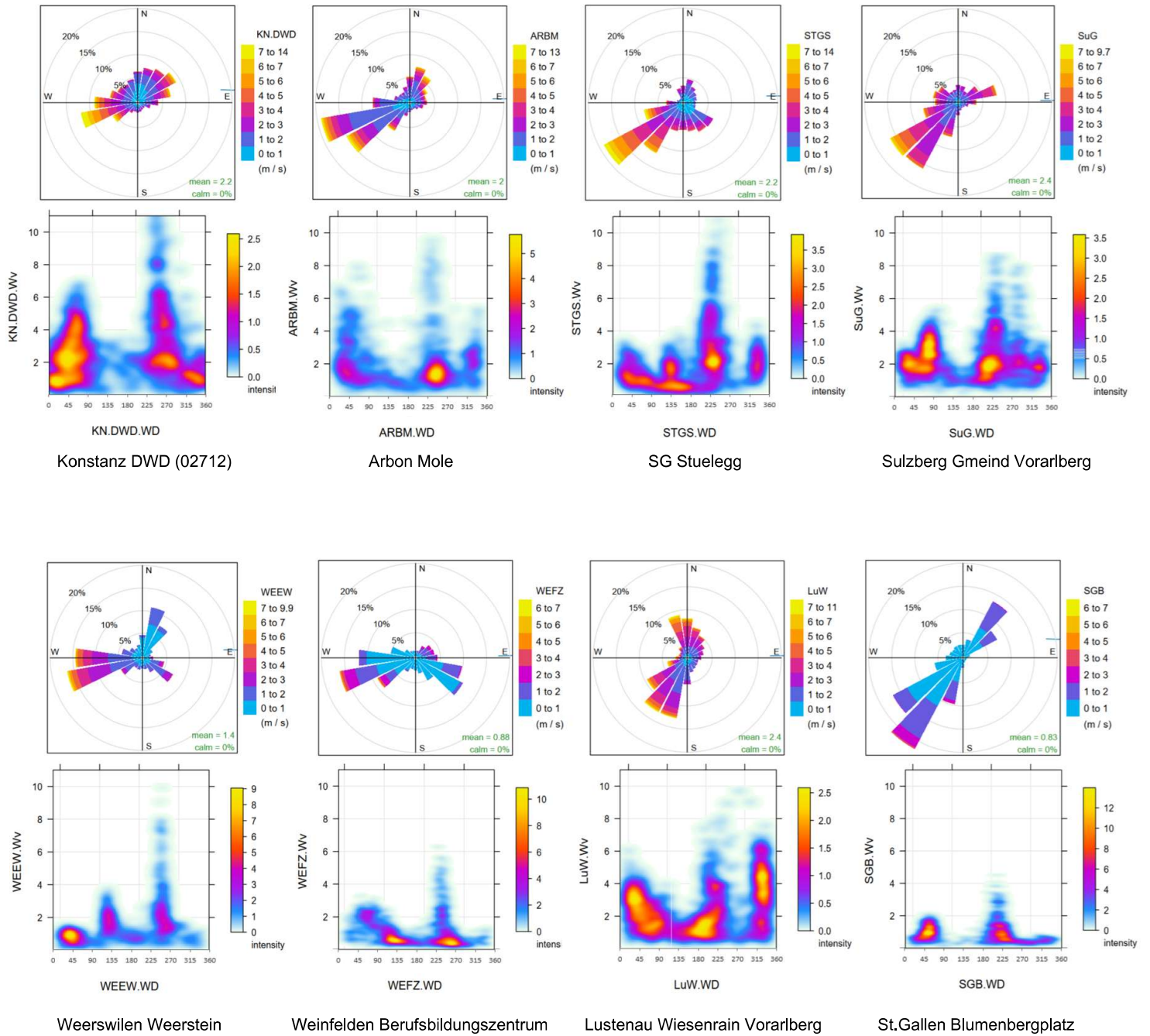


Abb. 39: NO₂-Jahresmittelwerte gemessen an drei Messstationen in Arbon im Zeitraum 1990 bis 2023

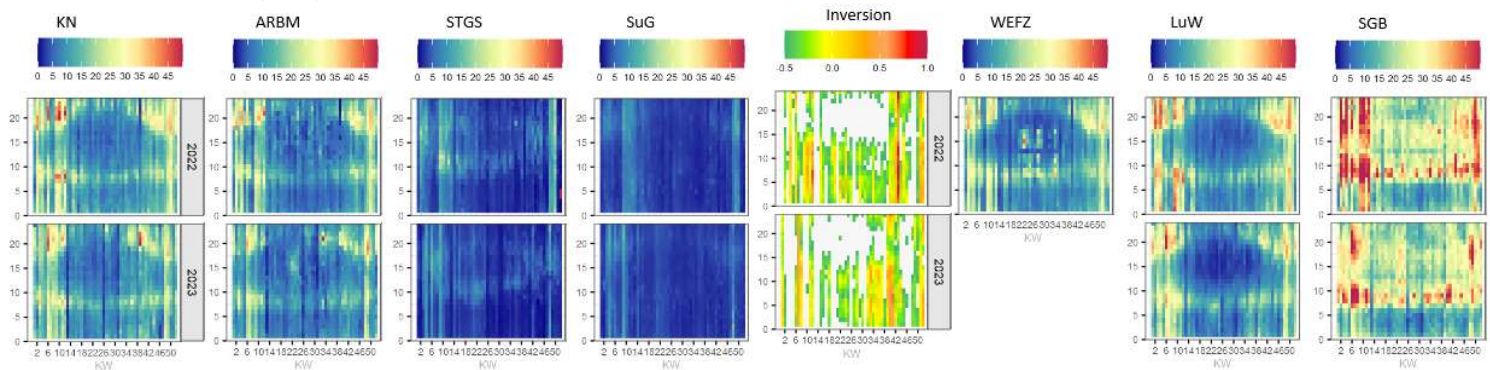
7 Anhang

7.1 Windmessdaten

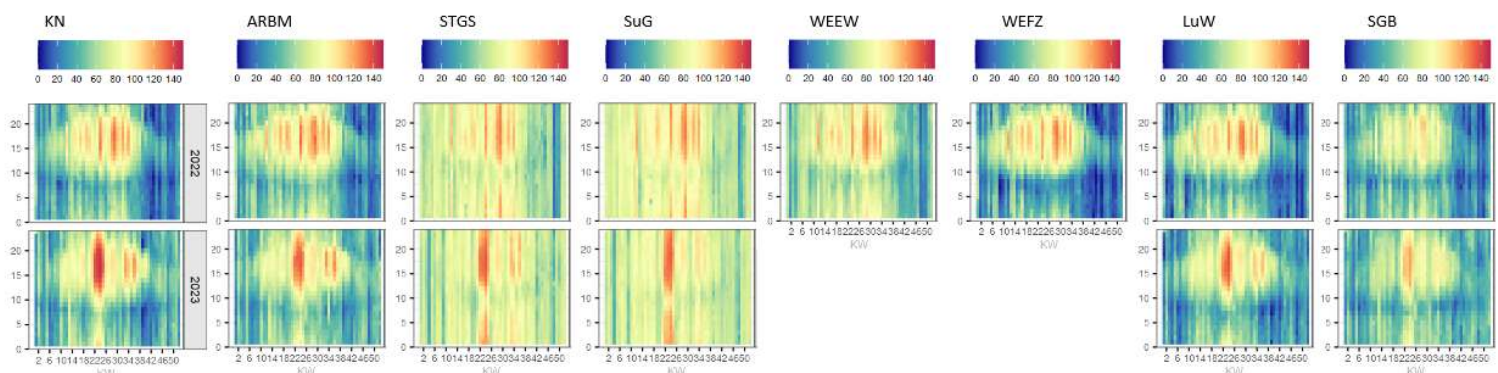


7.2 Mittlerer Tagesgang je Kalenderwoche (mit Sommerzeit Verschiebung)

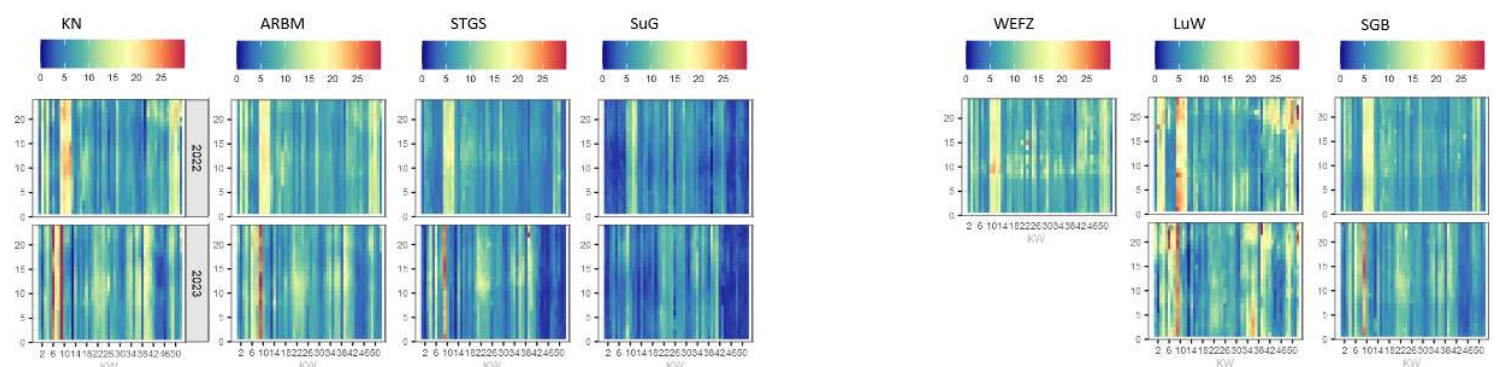
Stickstoffdioxid (NO₂) [µg/m³]



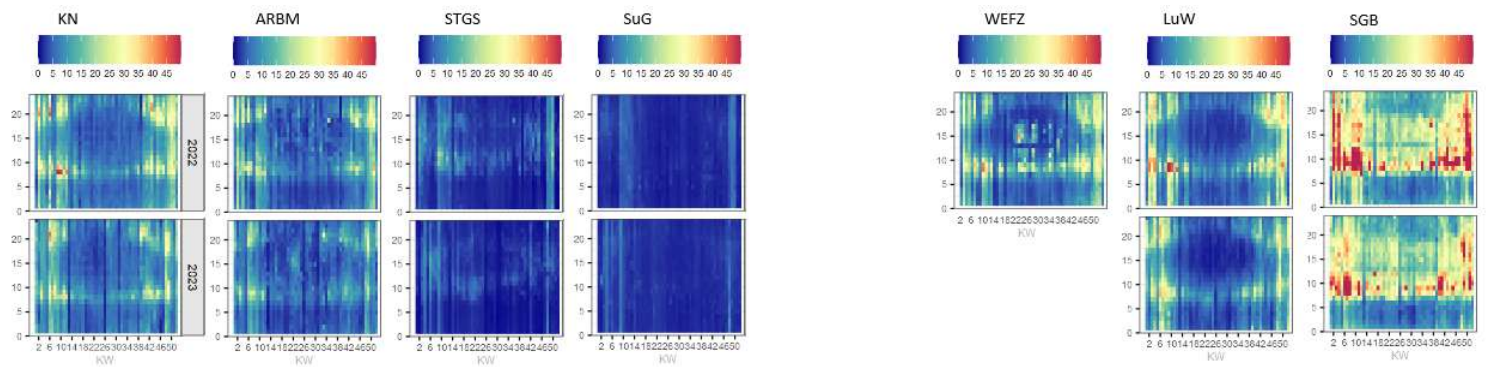
Ozon (O₃) [µg/m³]



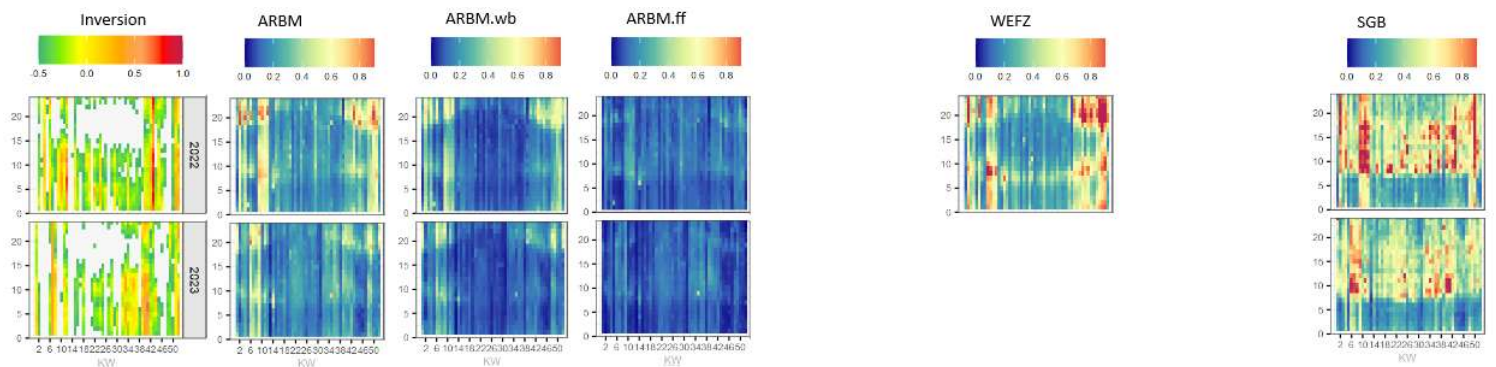
PM2.5 [µg/m³]



NOx [ppb]



eBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



7.3 Messstandorte

Arbon Mole Messstation Projekt	2'750'728 1'264'408 398 müM
	
Arbon Sonnenhügelstrasse NO2 Passivsammler Projekt	2'749'606 1'265'041 410 müM
2022 Neubauhaus westlich vom PS Standort 	2023 wegen Baustelle auf der anderen Strassenseite 

Arbon Altstadtumfahrung NO2 Passivsammler Projekt	2'750'123 1'264'779 410 müM
	

Amriswil Alleestrasse NO2 Passivsammler	2'739'866 1'268'109 450 müM
nur Messung 2022 	

Goldach Sonnenhaldenstrasse NO2 Passivsammler und Hivol 2'744'998 1'270'078 420 müM

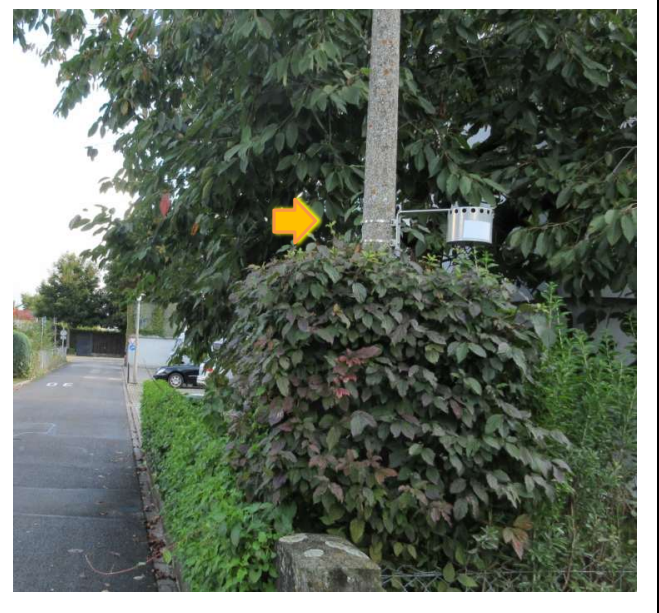


Goldach St.Gallerstrasse 76 NO2 Passivsammler 2'753'015 1'260'640 431 müM



Konstanz Wallgutstrasse Messstation	2'729'991 1'280'749 399 müM
	

Kreuzlingen Hafenstrasse 3 NO2 Passivsammler Projekt	2'730'707 1'279'300 400 müM
	

Kreuzlingen Konradstrasse	NO2 Passivsampler	2'731'726	1'278'274	404 müM
				

Kreuzlingen Konstanzerstrasse	NO2 Passivsampler Projekt	2'729'973	1'279'711	400 müM
2022 bis Nov 	2023 wegen Baustelle auf der anderen Strassenseite 			

Kreuzlingen Romanshorneerstrasse	NO₂ Passivsampler	2'732'601	1'278'054	411 müM
				

Lustenau Wiesenrain	Messtation	2'767'144	1'253'329	410 müM
				

Daten zur Verfügung gestellt vom Umweltinstitut Vorarlberg

Romanshorn Arbonerstrasse NO2 Passivsammler Projekt

2'745'237 1'269'460 410 müM



Romanshorn Kreuzlingerstrasse NO2 Passivsammler Projekt

2'744'998 1'270'078 420 müM



Rorschach Hauptstrasse 87 NO2 Passivsammler	2'754'651 1'260'680 400 müM
2022 	ab Mai 2023 wegen Baustelle an Kronen-Strasse 

St.Gallen Blumenbergplatz Messstation NO2 Passivsammler	2'746'011 1'254'720 675 müM
	

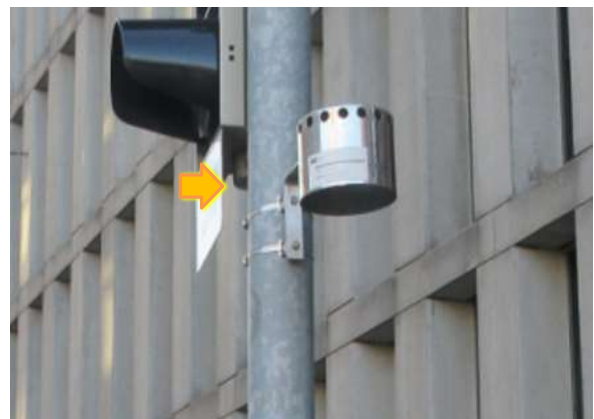
St.Gallen Blumenbergkreuzung NO2 Passivsammler

2'746'011 1'254'720 675 müM

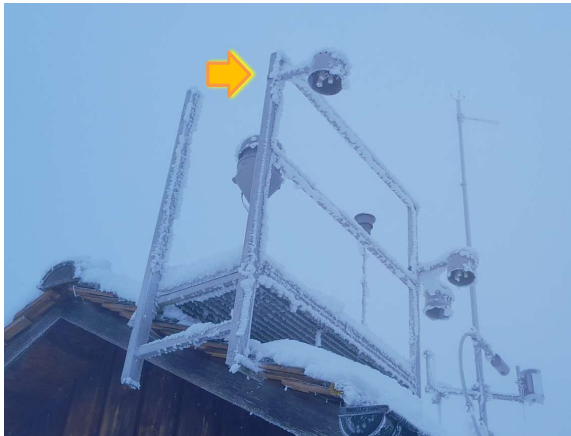


St.Gallen Geltenwilenstrasse NO2 Passivsammler

2'745'448 1'253'826 677 müM



St.Gallen St.Georgenstrasse NO2 Passivsammler	2'746'595 1'253'738 753 müM
	

St.Gallen Stuelegg Messstation NO2 Passivsammler	2'747'605 1'252'495 915 müM
	

Sulzberg Gmeind Messstation	2'787'335 1'267'248 1033 müM
	

Daten zur Verfügung gestellt vom Umweltinstitut Vorarlberg

Weerswilen Weerstein Messstation NO2 Passivsammler	2'727'744 1'271'190 630 müM
	

Weinfelden Berufsbildungszentrum	Messstation	2'725'371	1'269'705	430 müM
				

Weinfelden Deucherstrasse	NO2 Passivsampler	2'726'926	1'269'335	432 müM
				

Wittenbach Kronenkreuzung NO2 Passivsammler und Hivol 2'725'371 1'269'705 430 müM

Neuer PS Standort ab März 2023

