luftkollektiv
UMWELTBERATUNG I LUFTHYGIENE

Bericht

VOC-Immissionsmessungen in der Schweiz 1991 - 2024

Projekt mit finanzieller Unterstützung der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Bern, Graubünden, Uri, Waadt, Wallis sowie von Ostluft und des BAFU

luftkollektiv gmbh
St. Alban-Vorstadt 19
CH-4052 Basel
www.luftkollektiv.ch

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien,
Sektion Luftqualität, 3003 Bern.
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: luftkollektiv gmbh, St. Alban-Vorstadt 19, 4052 Basel: www.luftkollektiv.ch

Autoren: Andi Schneider, Yvonne Eggenberger

Kontakt: yvonne.eggenberger@luftkollektiv.ch

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst.
Für deren Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Basel, Januar 2026

ZUSAMMENFASSUNG 4

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG 6

2 METHODIK 8

2.1 Messstandorte 8

2.2 Messmethode 10

2.3 Qualitätssicherung 14

2.4 Fehlerabschätzung 16

3 RESULTATE 18

3.1 Jahresmittelwerte 18

3.2 Saisonale Schwankungen 24

3.3 Minima und Maxima 30

3.4 Monoterpene 31

3.5 Verhältnis Toluol / Benzol 36

4 VERGLEICH MIT FRÜHEREN MESSKAMPAGNEN 39

5 ENTWICKLUNG DER VOC-EMISSIONEN 46

6 VERGLEICH MIT WEITEREN VOC-MESSUNGEN IN DER SCHWEIZ 49

7 INTERPRETATION DER STANDORTDATEN 57

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN 64

Anhang 1 Messstationen
Anhang 2 Messwerte
Anhang 3 Standortklassifikation
Anhang 4 Anleitung Probenwechsel
Anhang 5 Bericht Vergleichsmessung

Zusammenfassung

Im Jahr 2024 wurden an 26 Standorten in elf Kantonen einjährige VOC-Immissionsmesskampagnen durchgeführt. Während 26 Messperioden wurden Passivsammler für 14 Tagen ausgehängt (an vier Standorten 13 Messperioden zu vier Wochen), danach im Labor mit Schwefelkohlenstoff extrahiert und mit einem GC/MS-System auf 40 verschiedene flüchtige Verbindungen (Aromaten, Alkane, Monoterpene und chlorierte Verbindungen) analysiert. An einem Standort wurden zusätzlich 36 polare VOC bestimmt.

Die Messungen erfolgten wie in den Vorjahren mit Passivsammlern, jedoch im Jahr 2024 erstmalig mit dem Sammlertyp „Monitor 3501+“, da der Sammler „Monitor 3500“ der Firma 3M der vorangegangene Kampagnen 1996, 2001, 2009, 2014 und 2019 nicht mehr hergestellt wird. (Anm.: In der ersten Messkampagne 1991/92 wurde noch mit Aktivsammler („Grob-Aktivkohleröhrchen“) gearbeitet.).
Der Sammler „Monitor 3501+“, zeichnet sich durch eine doppelte Adsorptionsrate gegenüber dem alten "Monitor 3500" aus, ist sehr sensitiv und zeigt massiv tiefere Blindwerte gegenüber dem Vorgängermodell. Nennenswerte Blindwertbelastungen bestehen noch bei Toluol, n-Nonan, n-Decan, Undecan, Dodecan, Tridecan, alpha-Pinen und Limonen. Vergleichsmessungen bestätigten, dass mit dem neuen Sammler die bestehenden Messreihen fortgesetzt werden können.
Die Analytik erfolgte in den Labors der Geopro AG oder der Umweltanalytik des Kantonalen Laboratoriums Basel-Landschaft. Zur Qualitätssicherung wurden mehrere Parallelproben von den beiden beteiligten Labors analysiert. Zudem nahm die Geopro während dieser Messkampagne an einem internationalen Ringversuch teil und die teilnehmenden Kantone erhielten im Vorfeld eine einheitliche Arbeitsanweisung, verfasst vom Lufthygieneamt beider Basel.

Der höchste Benzol-Jahresmittelwert wurde mit 2.56 $\mu g/m^3$ in Birsfelden (Tanklager) ermittelt. Knapp über 1 $\mu g/m^3$ liegt der Jahresmittelwert auch an der mobilen Messstation («Mobile 1») in Baltschieder im Wallis. An allen anderen Standorten liegen die Werte unter 1 $\mu g/m^3$, am tiefsten in Chur mit 0.30 $\mu g/m^3$.
Etwas grösser sind die Standortunterschiede bei den übrigen Aromaten. Der höchste Toluol-Jahresmittelwert beispielsweise wurde mit 6.68 $\mu g/m^3$ in Birsfelden gemessen, der tiefste mit 0.51 $\mu g/m^3$ in Rothenbrunnen.
An ländlichen und Agglomerations-Standorten zeigt Toluol einen leichten Jahresgang mit tieferen Werten im Sommer. An städtischen, Verkehrs-exponierten sowie Industrie-nahen Standorten ist kein Jahresgang erkennbar.
Monoterpene werden vor allem an ländlichen Messstationen nachgewiesen. Hauptkomponenten sind alpha- und beta-Pinen. In Städten ist der Limonen-Anteil erhöht. In Rothenbrunnen liegt das Verhältnis von alpha-Pinen zu Limonen bei 10.6, an den drei Walliser Standorten zwischen 4.5 und 7.4, in Basel Feldbergstrasse und Zürich Stampfenbachstrasse bei 0.9. Die höchsten Monoterpen-Werte zeigen Muttenz Hard, Brigerbad und Rothenbrunnen.
1991 wurde erstmals eine vergleichbare einjährige VOC-Immissions-Messkampagne an mehreren Standorten in der Schweiz durchgeführt, unter anderem mit Messungen in Allschwil Grabenring, Altdorf, Chur RhB und an der Feldbergstrasse in Basel. Ähnliche Kampagnen mit bis zu 24 Messstationen in 13 Kantonen erfolgten 1996, 2001, 2009, 2014 und 2019. Dadurch ist es heute möglich, die Entwicklung der VOC-Immissionen in den letzten 33 Jahren darzustellen. Die folgende Abbildung zeigt dies am Beispiel der Summe ausgewählter VOC, gebildet aus den Jahresmittelwerten von Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Mesitylen, Pseudocumol, n-Heptan und Isooctan.
Die vier erwähnten Stationen zeigen einen Rückgang der Immissionen der ausgewählten VOC von 1991 bis 2024 um 89 bis 93%. Auch in den letzten zehn Jahren sind die VOC-Immissionen deutlich zurückgegangen. An den 12 Standorten, welche auch schon 2014 beprobt worden sind, sanken die Immissionskonzentrationen um durchschnittlich 48%, an der Stampfenbachstrasse in Zürich gar um beinahe 60%. Der starke Rückgang

in den letzten zehn Jahren zeigt, dass die Massnahmen im Verkehr und in Industrie und Gewerbe (VOC-Lenkungsabgabe) immer noch Wirkung entfalten.
Die Resultate dieser VOC-Immissionsmesskampagnen bestätigen die Ergebnisse der 1994 aufgenommenen VOC-Immissionsmessungen an einzelnen NABEL-Stationen und stellen sie auf eine breitere Basis.
Ebenso werden die Emissionserhebungen des BAFU weitgehend durch die Messresultate bestätigt. Das BAFU stellt eine Abnahme der VOC-Emissionen des Verkehrs um 90% und der Industrie- und Gewerbe-Emissionen um 78% seit 1991 fest.

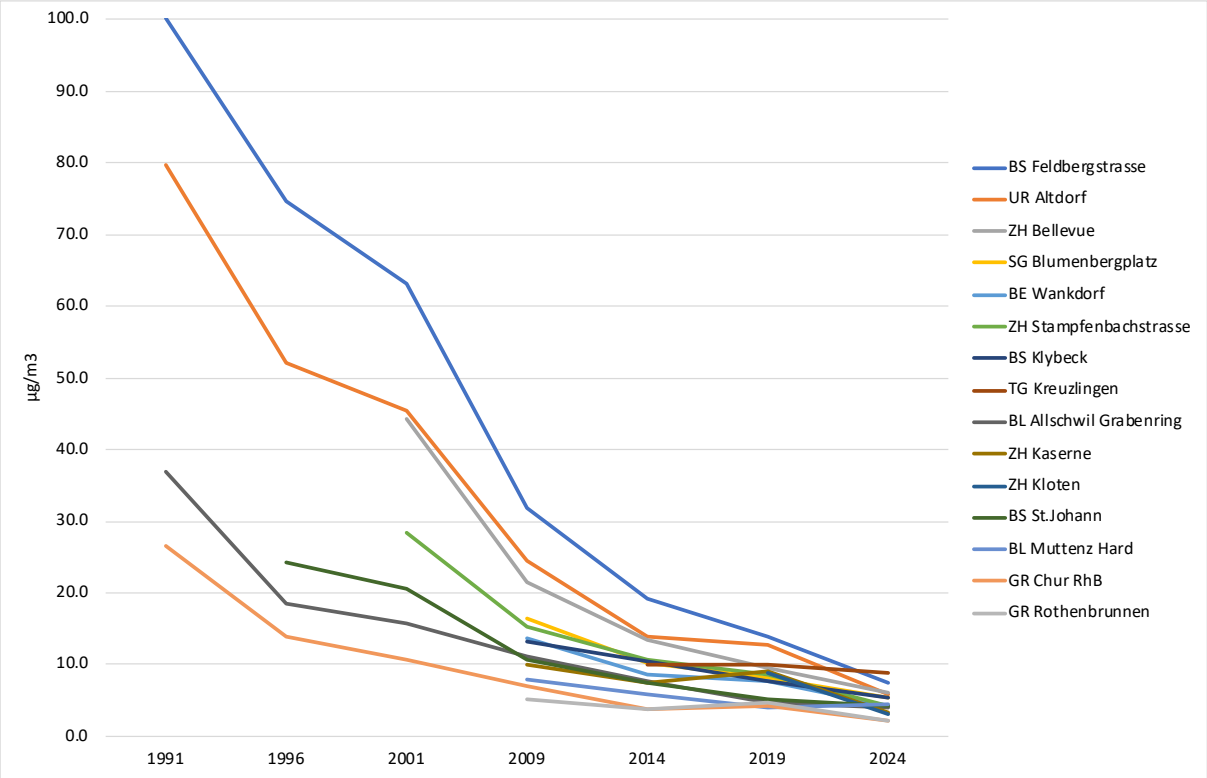


Abbildung **Jahresmittel der Summe ausgewählter VOC [µg/m³] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024**

Obwohl nur ein Teil der Vielzahl organischer Verbindungen analytisch erfasst wurde und meteorologische Einflüsse sowie allfällige Veränderungen in der direkten Umgebung der Messstandorte unberücksichtigt bleiben mussten, zeigen Immissionen und Emissionen über einen längeren Zeitraum betrachtet die gleiche Tendenz. Auf Grund der Wahl der Standorte und des erfassten Stoffspektrums bildeten die Immissions-Messresultate ursprünglich vorwiegend die Entwicklung der Strassenverkehrsemissionen ab. In jüngerer Zeit wurden vermehrt Standorte in Industrie- und Gewerbegebieten beprobt.
Neben der Plausibilisierung der gesamtschweizerischen Emissionserhebungen erlauben die Ergebnisse der VOC-Messkampagne auch eine Bewertung der Resultate zukünftiger Messungen. Sie dienen zudem durch Wiederholung der Messungen an einzelnen Standorten der Erfolgskontrolle emissionsmindernder Massnahmen, wenn die Emissionen eines Betriebes mit den Immissionsmesswerten korrelieren.
Die Messungen bestätigen, dass die von Bund, Kantonen und Gemeinden getroffenen Massnahmen zur Reduktion der VOC-Emissionen wirken. Die Luftqualität wird auch bezüglich VOC immer besser. Die immer noch vereinzelt zu hohen Feinstaubwerte und vor allem die flächendeckend zu hohen Ozonwerte zeigen aber, dass die Luftbelastung durch VOC noch weiter gesenkt werden muss.

1 Einleitung und Zielsetzung

VOC (Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen) sind neben den Stickoxiden Vorläuferschadstoffe, die für die Bildung von bodennahem Ozon verantwortlich sind. Hochreaktive VOC sind verantwortlich für die kurzfristigen Ozonspitzenwerte, die schwach reaktiven tragen dagegen zur Erhöhung der grossräumigen Ozon-Grundbelastung bei. Neben ihrer Wirkung zur Ozonbildung haben zahlreiche VOC weitere unerwünschte Eigenschaften: teilweise hohe Toxizität, Potenzial zur Bildung von sekundärem Feinstaub und Treibhausgaspotential.

Bund und Kantone haben in den vergangenen Jahren neben dem Vollzug der Luftreinhalteverordnung (LRV) diverse Massnahmen zur Minderung der VOC-Emissionen umgesetzt und die VOC-Verordnung angepasst. Zur Ergänzung der Emissionserhebungen und -schätzungen soll der Erfolg der Massnahmen auch mit Immissionsmessungen beobachtet werden.

1991/92 führte die Carbotech AG im Auftrag mehrerer Kantone und des BUWAL eine erste VOC-Immissions-Messkampagne an insgesamt neun Standorten durch. Mit der Zielsetzung, die Entwicklung der VOC-Immissionen zu verfolgen, wurden in den Jahren 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024 (diese Arbeit) weitere VOC-Messkampagnen durchgeführt.

Die 2024 erfolgten Messungen wurden im Auftrag der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Bern, Graubünden, Uri, Waadt, Wallis sowie von Ostluft durchgeführt.

Tabelle 1 **Analysierte VOC mit Emissionsquellen**

Stoffklasse	Stoff	Wichtigste Quellen
Aromaten	Benzol	Verkehr (in Benzin enthalten und Neubildung im Motor)
	Toluol, Ethylbenzol, Xylole, Ethyltoluole, Mesitylen, Pseudocumol, Hemellitol	Verkehr, Industrie/Gewerbe/Haushalte (in vielen lösemittelhaltigen Produkten wie Farben, Lacken, Klebern, Reinigern etc. enthalten)
	Styrol	Industrie/Gewerbe (in technischen Produkten enthalten), Verkehr (Abgase)
	Isopropylbenzol (Cumol), n-Propyl-benzol	Verkehr
Aliphaten	Isooctan (2,2,4-TMPentan), n-Octan, n-Nonan	Verkehr
	n-Hexan, n-Heptan, Cyclohexan	Verkehr, Industrie/Gewerbe
	n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan	Verkehr (Diesel, Kerosin), Industrie/Gewerbe (in Lösungsmitteln enthalten)
Chlorierte VOC	1,2-Dichlorethan, 1,1,1-Trichlorethan, 1,1,2-Trichlorethan, Trichlor-ethen, 1,1,2,2-Tetrachlor-ethan, Chlorbenzol	Industrie, Gewerbe
	Chloroform	Industrie (seltene Anwendung)
	Tetrachlorkohlenstoff	Verbotener Stoff, keine relevanten Quellen, wird kaum abgebaut. Hintergrundbelastung circa 0.4 µg/m^3
	Tetrachlorethen (Per)	Industrie/Gewerbe (Chemisch Reinigungen, Entfettung)
	Dichlorbenzole	Industrie
Monoterpene	Pinene, Camphen, 3-Caren	Natur (Stoffwechsel von Pflanzen), Haushalt/Gewerbe (pflanzliche Harze und Öle)
	Limonen	Haushalte, Gewerbe (Duftstoff in Produkten, Bestandteil von Zitrusschalenöl), Natur

2 Methodik

2.1 Messstandorte

In der Messkampagne 2024 wurden 26 Standorte während eines Jahres beprobt. Vier Standorte (Allschwil Grabenring, Basel Feldbergstrasse, Altdorf, Chur RhB) wurden bereits in den Messkampagnen 1991/1992, 1996, 2001, 2009, 2014 und 2019 gemessen. Zwei Standorte (Zürich Bellevue, Zürich Stampfenbachstrasse) in den Kampagnen 2001, 2009, 2014, 2019 und sieben Standorte (Basel St. Johannsplatz, Basel Klybeck, Bern Wankdorf, Muttenz A2 Hard, Rothenbrunnen, St. Gallen Blumenbergplatz, Zürich Kaserne (NABEL-Standort) in den Kampagnen 2009, 2014 und 2019. Der Standort Kreuzlingen war in den letzten zwei Messkampagnen 2014 und 2019 bereits vertreten und Kloten Feld im Jahr 2019.

Neu erfolgten im Jahr 2024 auch Probenahmen an den zehn folgenden Standorten: Bosswil und Lengnau im Kanton Aargau, Birsfelden Tanklager, Allschwil Life Science und Bubendorf im Kanton Basel-Landschaft, im Kanton St. Gallen Rorschach Hauptstr. 87, im Kanton Waadt Lausanne César-Roux, im Kanton Wallis in Brigerbad, Massongez und Baltschieder „Mobile 1“ und im Kanton Zürich in Grüningen.

Die Messungen begannen zwischen dem 8. und 17. Januar 2024 und endeten zwischen dem 7. und 14. Januar 2025. Die genauen Daten sind in der Tabelle 2 aufgelistet.

Bei der Mehrheit der Standorte wurden 14-Tagesproben exponiert, bei den Standorten Allschwil Life Science, Birsfelden Tanklager, Bubendorf und Grüningen wurden die Sammler 28 Tage ausgebracht. Erstmalig wurden in dieser Kampagne auch polare VOCs gemessen und zwar am Standort Grüningen, ergänzend zu der apolaren Palette.

An den drei Walliser Standorten wurden die Passivsammler teilweise länger als 14 Tage exponiert, Um im Jahresverlauf wieder mit den andern Standorten vergleichbar zu sein, wurde die Periode 17 ausgelassen (d.h. von Periode 16 direkt zur Periode 18 übergegangen). In Basel Feldbergstrasse fehlt ein Sammler, in Zürich Bellevue fehlt ebenfalls ein Sammler und eine Probenahme dauerte 28 statt 14 Tage, in Altdorf fehlen 6 Sammler.

Das Lufthygieneamt beider Basel liess die Passivsammler der acht Basler und Baselbieter Standorte beim Kantonalen Labor Basel-Landschaft (KL BL) analysieren. Die restlichen Proben wurden vom Labor Geopro analysiert.

Tabelle 2 **Standorte, Typ und Messperiode**

Standort	Typ*	Messperiode	Anzahl Messungen	Labor
Allschwil, Grabenring (BL)	S_T	15.1.24 – 14.1.25	26	KL BL
Allschwil, Life Science (BL)	S_T	8.1.24 – 6.1.25	13	KL BL
Altdorf (UR)	S_T	9.1.24 – 7.1.25	20 (Periode 15, 16, 18, 19, 23 und 26 fehlen)	Geopro
Basel, Feldbergstrasse (BS)	U_T	17.1.24 – 8.1.25	25 (Periode 13 fehlt)	KL BL
Basel, Klybeck Plantanenhof (BS)	U_I	15.1.24 – 14.1.25	26	KL BL
Basel, St. Johannsplatz (BS)	U_B	17.1.24 – 8.1.25	25	KL BL
Bern, Wankdorf (BE)	U_T	15.1.24 – 14.1.25	26	Geopro
Birsfelden Tanklager (BL)	S_I	8.1.24 – 7.1.25	13	KL BL
Boswil (AG)	R_B_r	17.1.24 – 22.1.25	26	Geopro
Bubendorf (BL)	R_I	8.1.24 – 7.1.25	13	KL BL
Brigerbad (VS)	R_I_c	16.1.24 – 20.1.25	25	Geopro
Chur RhB (GR)	S_T	16.1.24 – 14.1.25	26	Geopro
Grüningen (ZH)	R_T/I	15.1.24 – 14.1.25	13	Geopro
Kloten Feld (ZH)	S_B	17.1.24 – 21.1.25	26	Geopro
Kreuzlingen Industrie Bahnunterführung	S_I	15.1.24 – 20.1.25	26	Geopro
Lausanne César-Roux	U_T	15.1.24 – 14.1.25	26	Geopro
Lengnau (AG)	R_B_r	17.1.24 – 22.1.25	26	Geopro
Massongez (VS)	R_T/I_c	16.1.24 – 20.1.25	25	Geopro
Baltschieder Mobile 1 (VS)	R_T/I_c	16.1.24 – 20.1.25	25	Geopro
Muttenz, A2 Hard (BL)	S_T	17.1.24 – 8.1.25	25	KL BL
Rothenbrunnen (GR)	R_T_r	16.1.24 – 14.1.25	26	Geopro
St. Gallen, Blumenbergplatz (SG)	U_T	16.1.24 – 21.1.25	26	Geopro
Rorschach, Hauptstr. 87 (SG)	U_T	15.1.24 – 21.1.25	26	Geopro
Zürich, Bellevue (ZH)	U_T	16.1.24 – 21.1.25	24 (Periode 16 fehlt, 18/19 vier Wochenprobe)	Geopro
Zürich, NABEL Kaserne (ZH)	U_B	17.1.24 – 21.1.25	26	Geopro
Zürich, Stampfenbachstrasse (ZH)	U_T	16.1.24 – 21.1.25	26	Geopro

*__U__rban, __S__uburban, __R__ural _ __T__raffic, __I__ndustry, __B__ackground _ Rural near-__c__ity, rural-__r__egional, rural-re__m__ote

Standorttyp gem. Anhang 4 Standortklassifikation „Immissionsmessung von Luftfremdstoffen*, BAFU 2021 (siehe Anhang 3)

2.2 Messmethode

Messprinzip
Die Messungen erfolgten wie in den Vorjahren mit Passivsammlern, jedoch im Jahr 2024 erstmalig mit dem Sammlertyp „Monitor 3501+“, da der Sammler „Monitor 3500“ der Firma 3M der vorangegangene Kampagnen 1996, 2001, 2009, 2014 und 2019 nicht mehr hergestellt wird. (Anm.: In der ersten Messkampagne 1991/92 wurde noch mit Aktivsammler („Grob-Aktivkohleröhrchen“) gearbeitet.)

„Monitor 3501+“
Das Kantonale Labor Basel-Landschaft hat gemeinsam mit dem Lufthygieneamt beider Basel und Geopro im Vorfeld den neuen Sammlertyp evaluiert.
Die Kriterien waren Vergleichbarkeit der Werte gegenüber dem Vorgängermodell Typ 3500, sichtbare Abweichungen der Resultate abhängig der Expositionszeit von 14 und 28 Tagen, Variabilität bei Dreifachbestimmung paralleler Expositionen an drei Standorten, Blindwerte und Adsorptionsraten. Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit liegt ein separater Bericht vor[1].

Der Sammler „Monitor 3501+“, der Firma 3M ist ein Röhrchentyp mit beidseitiger Diffusion. Er zeichnet sich durch eine doppelte Adsorptionsrate gegenüber dem alten "Monitor 3500" aus. Die Adsorptionsraten hängen von der Fläche des Aktivkohlevlieses ab. Der länglich gebaute Sammlertyp 3501+ adsorbiert im gleichen Zeitraum die doppelte Menge des Sammlers Typ 3500.
Der Sammler „Monitor 3501+“, weist massiv tiefere Blindwerte gegenüber dem Vorgängermodell aus. Nennenswerte Blindwertbelastungen bestehen noch bei Toluol, n-Nonan, n-Decan, Undecan, Dodecan, Tridecan, alpha-Pinen und Limonen, jedoch sind diese ein Vielfaches tiefer als beim alten Passivsammler Typ "Monitor 3500" der Firma 3M.



Abbildung 1 Passivsammler 3501+ der Firma 3M, ausgepackt.

Probenahme
Jeweils ein Passivsammler wurde während zwei, respektive vier Wochen unbelüftet und witterungsgeschützt senkrecht hängend in einer Plastik-Dose, die unten offen ist, exponiert.
Die Kantone hatten mindestens bei einem Messzyklus, die Kantone beider Basel bei jedem, Transportblindwerte mitgeführt, um mögliche Kontaminationen während den Probewechsel zu erfassen.
Erstmalig haben die teilnehmenden Kantone eine vom Lufthygieneamt beider Basel erstellte Anleitung zum Sammlerwechsler erhalten. Es wird darin insbesondere auf mögliche Kontaminationen mit Kosmetik-produkten, wasserfesten Filzstiften und Fahrzeugen hingewiesen. Die Anleitung soll ein einheitliches Handling fördern. Die Anleitung ist im Anhang 4 angefügt.
Die Sammler wurden von Mitarbeitern der kantonalen Fachstellen nach der Exposition verschlossen und per Post an das Labor der Geopro geschickt oder zum Kantonalen Labor Basel-Landschaft gebracht. Die Aufarbeitung erfolgte innert zwei Wochen nach Erhalt der Sammler.

1 Anhang 5 „VOC-Passivsammler Vergleichsmessungen zum Ersatz des Sammlertyps“, LHA/KL BL/Geopro; 7.2.2024

Aufarbeitung 3M 3501+ und Analytik: Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft

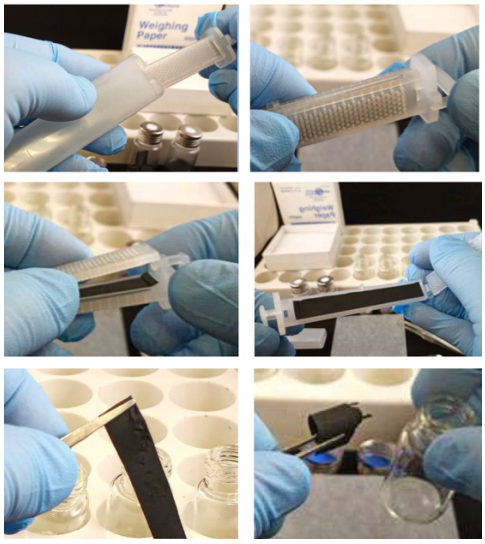


Abbildung 2 Entnahme des Sammlers

Der Sampler wird dem Gehäuse entnommen und zusammengerollt in ein 7 ml Vial gegeben. Es werden 2 ml Schwefelkohlenstoff (CS_2) mit einer 2.5 ml Spritze und 20 µl ISTD mit einer 25 µl Mikroliterspritze zugegeben. Der Sampler wird nun auf dem Vortex Genie 2 während 45 Minuten bei 700 rpm desorbiert. Anschliessend wird der CS_2-Extrakt unter Zuhilfenahme einer Pasteurpipette in ein 2 ml GC-Vial transferiert. Diese Vials werden im Tiefkühler bis zur Messung gelagert. Diese Lösungen sind tiefgekühlt drei Monate haltbar.
Die erhaltene Lösung wird direkt in den Gaschromatographen eingespritzt und das MS-Signal mit der Masshunter-Software aufgezeichnet. Innerhalb einer Messserie wird CS_2 aus derselben Flasche verwendet. Neue Flaschen sind vor der Verwendung auf Eignung zu prüfen (Lösungsmittelblindwert).

Gaschromatograph: Agilent GC 8890N
Massenspektrometer: Agilent 5977C

Bei jeder Messserie werden die Kalibrierstandards K1 bis K6 gemessen. Basis für die Berechnungen sind die Peakflächen unter Berücksichtigung des internen Standards.

Aufarbeitung 3M 3501+ und Analytik: Geopro
Die Aktivkohlemembranen des Typs 3501+ wurden entnommen und in Glasvials eine Stunde lang mit 1.5 ml bzw. 2 ml Schwefelkohlenstoff mit ca. 150 U/Min geschüttelt. Als interner Standard wurde 1-Chlorhexan in Schwefelkohlenstoff verwendet. Die Konzentration des internen Standards in der Extraktionslösung betrug 5 ng/µl.
Für die Messungen wurde ein Agilent GC-MS-System (7890B / 5977B) im Einzelionenmodus verwendet. Es wurden 0.7 µl des Extrakts im Splitless-Modus bei einer Temperatur von 180 °C injiziert und die Substanzen auf einer Rtx®-624-Säule mit einer Länge von 40 m, einem Innendurchmesser von 0.18 mm und einer Schichtdicke von 1 µm getrennt.

Gaschromatograph und Massenspektrometer: GC-MS-System Agilent 7890B / 5977B

Die Berechnung der Konzentration in der Luftprobe erfolgte gemäss den Vor- und Angaben von 3M und berücksichtigt komponentenspezifische Adsorptions- und Desorptionsraten (aus Wiederfindungs-experimenten) sowie die mittlere Temperatur während der Probenahme.

Quantifizierte Stoffe

Tabelle 3 **Analysierte apolare Verbindungen der beiden Labore**

	Apolare Verbindungen	Geopro (39)	KL BL (31)
Aromaten	Benzol	X	X
	Toluol	X	X
	Ethylbenzol	X	X
	m/p-Xylol	X	X
	o-Xylol	X	X
	Isopropylbenzol (Cumol),	X	-
	n-Propylbenzol,	X	-
	m/p-Ethyltoluol	X	X
	o-Ethyltoluol	X	-
	1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	X	X
	1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocumol)	X	X
	1,2,3-Trimethylbenzol (Hemellitol)	X	-
	Styrol	X	-
Aliphaten	n-Hexan	-	X
	n-Heptan	X	X
	n-Octan	X	X
	Isooctan (2,2,4-TMPentan)	X	X
	n-Nonan	X	X
	n-Decan	X	X
	Undecan	X	-
	Dodecan	X	-
	Tridecan	X	-
	Cyclohexan	X	X
Chlorierte Stoffe	Chloroform	X	X
	1,1,1-Trichlorethan	X	X
	1,1,2-Trichlorethan	X	X
	1,1,2,2-Tetrachlorethan	X	-
	Tetrachlorkohlenstoff	X	X
	Trichlorethen	X	X
	Tetrachlorethen (Per)	X	X
	Chlorbenzol	X	X
	1,2-Dichlorbenzol	X	X
	1,3-Dichlorbenzol	X	X
	1,4-Dichlorbenzol	X	X
	1,2-Dichlorethan	X	X
Monoterpene	Limonen	X	X
	α-Pinen	X	X
	β-Pinen	X	X
	Camphen	X	X
	3-Caren	X	X

Vertrauensgrenzen Geopro

Die absoluten Nachweisgrenzen der einzelnen VOC sind unterschiedlich und wurden nicht bestimmt. Stattdessen wurden Vertrauensgrenzen für die verschiedenen Verbindungen festgelegt. Der angegebene Wert resultiert aus der Verrechnung der Konzentration des kleinsten Standards aus der Kalibrierung (circa 0.01 ng/µl Injektionsvolumen) mit den gleichen Parametern wie für die realen Proben (Expositionszeit, substanzspezifische Rechenkonstante, Recovery). Das ergibt bei 14-tägiger Expositionszeit 0.01 - 0.04 $\mu g/m^3$.

Bestimmungsgrenze Kantonales Labor Basel-Landschaft

Die Bestimmungsgrenze wurde auf 0.05 ng/µl festgelegt. Dies entspricht einer Probenkonzentration von 0.1 $\mu g/m^3$.[2]

In den Resultaten sind Werte kleiner der Bestimmungsgrenze von 0.1 $\mu g/m^3$ pauschal mit dem Wert 0.05 $\mu g/m^3$ erfasst.

[2] Kapitel 7, Validierungsresultate «Bestimmung von VOC in Luft (Aktivkohle-Passivsammler) mittels Desorption mit CS_2 und GC-MS», KL BL; Version 07, 2024

2.3 Qualitätssicherung

Blindwerte

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Blindwerte vor allem in den 3M-Sammlern vorkommen und von Serie zu Serie schwanken. Geringste Verunreinigungsspuren sind im Lösungsmittel (CS_2) zu finden. Diese Kontamination ist eher vernachlässigbar. Die beiden Labore haben die Methodik der Blindwerte und Messwertkorrekturen wie folgt festgelegt:

Blindwerte Kantonales Labor Basel-Landschaft

Pro Aufarbeitungsserie wird auch ein Transportblindwert (Sammler während Einholen der Proben mitgeführt und kurz geöffnet, z.B. im Fahrzeug, um Kontaminationen des Wechseltages zu erfassen). Im Transportblindwert können Stoffe über der Bestimmungsgrenze gefunden werden. Die gefundenen Stoffe sind jedoch nicht einheitlich in den Sammler vertreten und schwanken von Sammler zu Sammler. Das Kantonale Labor Basel-Landschaft analysiert pro Messzyklus (Aufarbeitungsserie) einen ungeöffneten Sammler zur Bestimmung der Wiederfindung.
Weiter werden Lösemittelblindwerte der eingesetzten Lösemittel gemessen (Spuren von Hexan).

Jeder Messwert pro Messzyklus wird auf der Grundlage der beiden Werte Wiederfindung und Transportblindwerte, welche pro Messzyklus bestimmt werden, korrigiert.

Blindwerte Geopro

Für die gesamte Kampagne standen Sammler aus vier verschiedenen Chargen im Einsatz. Das Labor Geopro analysierte vier ungeöffnete Werk-Blindwerte pro Charge und wendete davon den Mittelwert an, um die aus dieser Charge verwendeten Sammler zu korrigieren.
Die Wiederfindung wird einmal jährlich vor der Kampagne bestimmt und die Werte für die gesamte Kampagne angewendet.

Transportblindwerte Standorte von Geopro

Erstmalig wurde zu Qualitätssicherungszwecken bei den Probenwechsel aller Standorte ein Transportblindwert mitgeführt, um mögliche Kontaminationen zu erfassen. Die Sammler wurden von Geopro analysiert und ausgewertet. Da keine Auffälligkeiten gefunden wurden, flossen die Werte bei Geopro nicht zur Korrektur ein. Im Gegensatz dazu verwendete das KLBL wie oben beschrieben diese Transportblindwerte für die Blindwertkorrektur der Messwerte.

Parallele Probenahmen Geopro und Kantonales Labor Basel-Landschaft

Während den «Vergleichsmessungen zum Ersatz des Sammlertyps» fanden Parallelmessungen von zeitgleich exponierten Sammlern bei Geopro und im KLBL statt.

In Abbildung 3 sind die Toluol-Werte dieser Parallelmessungen beispielhaft dargestellt.

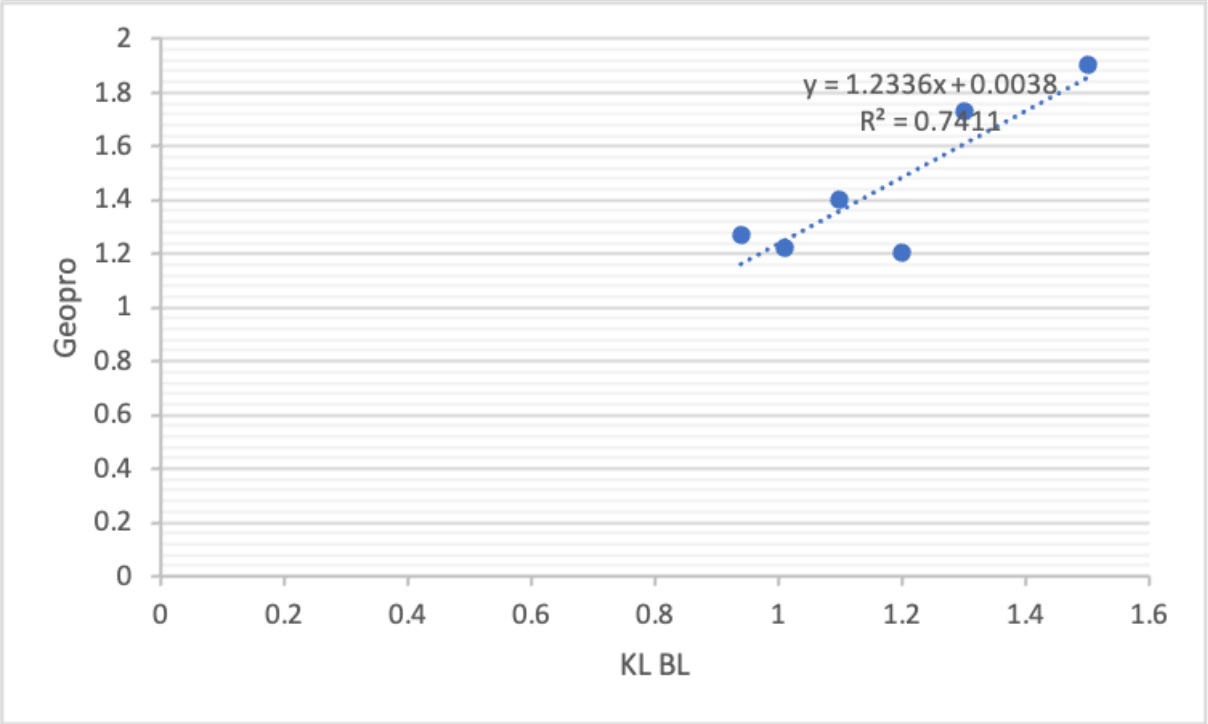


Abbildung 3 Ergebnisse der Toluolvergleichsmessungen [µg/m³] KL BL / Geopro 2023

Abstimmung der Adsorptionsraten von Geopro und dem Kantonalen Labor Basel-Landschaft

Für viele Stoffe liegen Adsorptionsraten vom Hersteller vor. Nicht vorliegende Adsorptionsraten werden von den Labors selbst eingeschätzt. Das Labor Geopro hat für die beiden Stoffe n-Decan und m-Ethyltoluol andere Adsorptionsraten festgelegt als das KLBL. Ansonsten sind diese bei den beiden Labors vergleichbar.

Ringversuche

Die Geopro hat am Ringversuch «Organische Lösemittel 2024» im Februar 2024 des IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin) erfolgreich teilgenommen.

Das Lufthygieneamt beider Basel hat mit dem KL BL ausserdem 2014 an einem Ringversuch in Strasbourg (Laboratoire interrégionale de chimie, Rapport d'essais interlaboratoires: Intercomparaison 2014 de mesures de BTEX par prélèvements passifs, Schiltigheim 2014) teilgenommen, bei welchem insgesamt 10 Labore aus Frankreich, Italien, Deutschland und der Schweiz BTEX mit verschiedenen Methoden bestimmt haben.

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über beide Labore wurde als genügend eingestuft. Unterschiedlich ist die Grundlage der Blindwerte zur Korrektur der Messwerte. Während Geopro ungeöffnete Werkblindwerte bestimmt, verwendete das KL BL kurz exponierte Transportsammler. Da die Transportblindwerte keine Auffälligkeiten zeigten, sind die beiden Methoden zur Blindwertkorrektur in gut ausreichender Grössenordnung vergleichbar.

2.4 Fehlerabschätzung

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen und der Ringversuche lassen vermuten, dass der Fehler für Probenahme und Analytik - mit den beschriebenen Ausnahmen - kleiner ±20% ist.

In diesem Bericht sind alle Laborergebnisse ohne weitere Korrekturen durch die Autoren dargestellt. Das bedeutet, auch Messwerte, die nicht nachvollziehbar sind, fliessen in die Auswertung ein.
Deshalb sind folgende Besonderheiten bei der Interpretation zu berücksichtigen:

«Oktoberpeak»
Auffällig sind Peaks der Messperiode 19 und teilweise der Messperiode 20 im selben Muster. Die Standorte der beiden Basel sind nicht betroffen.
In den genannten Messperioden 19 und 20 (ca. 9.10.2024-24.10.2024 respektive ca. 24.10.2024-7.11.2024) ist vor allem an den Standorten Blumenbergplatz, Lausanne, Massongez, Bellevue, Kaserne, Stampfenbach, Kreuzlingen, Wankdorf, Boswil und Chur RhB ein Anstieg diverser Stoffe erkennbar. Am deutlichsten sichtbar sind Peaks der Stoffe n-Decan, Undecan, a-Pinen, Limonen, Dodecan, m/p-Ethyltoluol und Pseudocumol in der Höhe Faktor 2-8 gegenüber restlichen Werten des Jahres. Die Werte sind nicht plausibel. Das Labor Geopro konnte keine Erklärung dazu finden. Möglicherweise sind Blindwertschwankungen innerhalb der Chargen die Ursache. Allerdings zeigt auch die vom Kanton Wallis in Massongez betriebene BTEX-Station zum gleichen Zeitpunkt einen Toluol-Spitzenwert. Die Grafiken der einzelnen Standorte sind in den Standortdatenblätter in Anhang 1 aufgeführt.

Drop an Zürcher Standorten
An den Zürcher Standorten Kaserne, Kloten Feld und Grüningen ist in der Messperiode 19 (25.9.2024-9.10.2024) ein Abfall der Konzentrationen zu erkennen. Dieser Konzentrationsabfall zeigt sich auch bei den Monoterpenen und den höheren Alkanen (ab n-Decan). Die Ursache dafür konnte nicht gefunden werden.

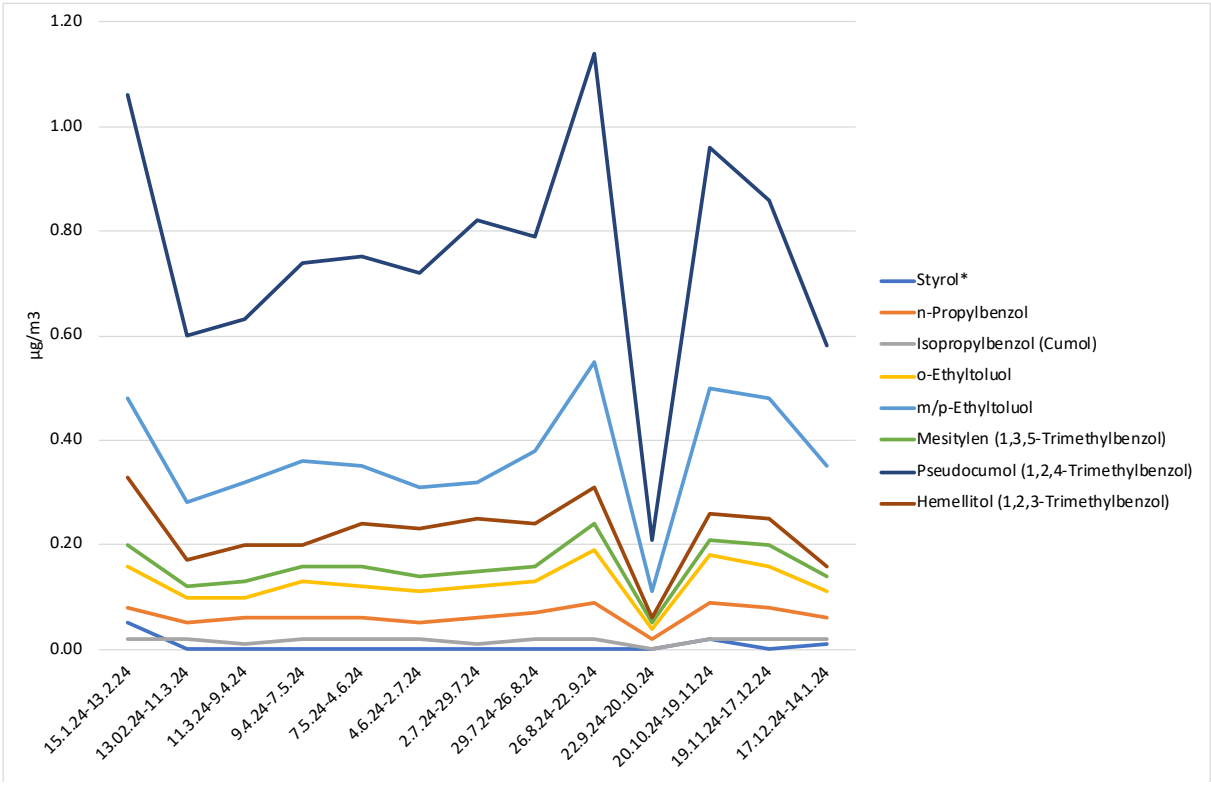


Abbildung 4 Beispiel des Drops anhand Jahresverlauf weiterer Aromaten Standort Grüningen [µg/m³]

Vergleichbarkeit einiger Stoffe zu den Messwerten 2019

Isooctan Vergleichbarkeit zu den Messwerten 2019

In der Kampagne 2019 waren die Passivsammler der Charge EA ab Werk bereits stark mit Isooctan verunreinigt, was zu hohen und vor allem schwankenden Blindwerten des Isooctans führte. Die Standardabweichung des Isooctan-Blindwertes lag 2019 teilweise in der Grössenordnung der Messresultate. Ähnliches gilt für Undecan und in geringerem Ausmass für Dodecan. Folglich kann in der Zeitreihe das Jahr 2019 nicht zum Vergleich des Rückgangs des Isooctans, Undecans und Dodecans beigezogen werden, ausser für die Basler und Basel-Landschäftlichen Standorte.

n-Heptan Vergleichbarkeit zu den Messwerten 2019, Bündner Standorte

Im Jahr 2019 zeigte n-Heptan an beiden Standorten des Kantons Graubünden, Chur RhB und Rothenbrunnen, einen Jahresverlauf auf hohem Niveau mit Peaks bis 8.6 $\mu g/m^3$. Es wurde eine Kontamination bei den Probenahmen vermutet. Diese These konnte durch den Vergleich der verschiedenen Messkampagnen gestützt werden (siehe Grafik 31 in Kapitel 4). Folglich kann in der Zeitreihe des n-Heptans für die Bündner Standorte das Jahr 2019 nicht zum Vergleich beigezogen werden.

3 Resultate

3.1 Jahresmittelwerte

Die durchschnittliche Jahresbelastung an den 26 Standorten wurde aus den Einzelmesswerten ohne Gewichtung der teilweise unterschiedlichen Probenahmedauer gebildet. Die genauen Daten der Messungen finden sich in Anhang 2.
Die Jahresmittelwerte 2024 sämtlicher VOC an allen Standorten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Der höchste Jahresmittelwert jeder Substanz ist fett markiert. Die höchsten Benzol-, Toluol- und Alkan-Konzentrationen finden sich bei der Messstation Birsfelden Tanklager. Hohe Styrol-Werte wurden in Lengnau festgestellt. Bei allen anderen Aromaten zeigt Grüningen die höchsten Werte. Monoterpene werden vor allem an den ländlichen Standorten Brigerbad, Muttenz Hard und Rothenbrunnen gemessen. Die Konzentrationen chlorierter Kohlenwasserstoffe sind an den Walliser Standorten leicht erhöht.
In den Abbildungen 5 bis 8 sind die Jahresmittelwerte für ∑VOC, Benzol, Toluol und m/p-Xylol grafisch dargestellt. Die grössten VOC-Belastungen (siehe Abbildung 5) weist der Industriestandort Birsfelden Tanklager auf, eine sechsmal geringere das eher ländliche Boswil. Auch beim Benzol dominiert der Tanklager-Standort, die Belastungsunterschiede zwischen den Messstellen sind noch ausgeprägter (Abbildung 6). Bei Toluol zeigen in Abbildung 7 die Industriestandorte Birsfelden Tanklager, Rorschach, Kreuzlingen und Baltschieder Mobile 1 die höchsten Belastungen. Die Jahresmittelwerte sind acht- bis dreizehnmal höher als in Rothenbrunnen. Abbildung 8 zeigt die Jahresmittel von m/p-Xylol. Hier dominiert Grüningen vor Kreuzlingen und Birsfelden.

Tabelle 4 **VOC-Jahresmittelwerte [$\mu g/m^3$]**

	AG Boswil	AG Lengnau	BE Wankdorf	BL Allschwil Grabenring	BL Allschwil Life Science	BL Birsfelden Tanklager	BL Bubendorf	BL Muttenz Hard	BS Feldbergstrasse
Benzol	0.35	0.37	0.47	0.51	0.48	**2.56**	0.59	0.68	0.80
Ethylbenzol	0.12	0.12	0.21	0.20	0.19	0.45	0.27	0.22	0.38
Toluol	0.75	0.66	1.62	1.41	1.17	**6.68**	2.24	1.49	2.48
o-Xylol	0.14	0.14	0.28	0.26	0.24	0.59	0.36	0.28	0.52
m/p-Xylol	0.38	0.37	0.79	0.71	0.65	1.57	0.99	0.75	1.45
Styrol	-	**0.70**	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
n-Propylbenzol	0.01	0.01	0.03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Isopropylbenzol (Cumol)	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
o-Ethyltoluol	0.01	0.01	0.04	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
m/p-Ethyltoluol	0.06	0.06	0.14	0.11	0.09	0.30	0.16	0.13	0.27
Mesitylen	0,02	0.02	0.05	0.06	0.05	0.14	0.06	0.05	0.12
Pseudocumol	0.07	0.07	0.16	0.23	0.18	0.47	0.25	0.23	0.43
Hemellitol	0.02	0.02	0.05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
n-Hexan	n.b.	n.b.	n.b.	0.24	0.28	**2.90**	0.64	0.48	0.57
n-Heptan	0.18	0.14	0.27	0.27	0.24	**1.24**	0.89	0.32	0.45
n-Octan	0.03	0.03	0.07	0.05	0.06	**0.81**	0.07	0.10	0.15
Isooctan (2,2,4-TMPentan)	0.23	0.23	0.27	0.43	0.46	**1.64**	0.52	0.51	0.82
n-Nonan	0.02	0.03	0.06	0.05	0.05	**0.78**	0.05	0.08	0.10
n-Decan	0.08	0.10	0.18	0.05	0.05	**0.50**	0.06	0.10	0.12
Undecan	0.03	0.04	0.07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Dodecan	0.10	0.13	0.17	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Tridecan	0.03	0.05	0.05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cyclohexan	0.27	0.11	0.13	0.22	0.28	**0.55**	0.36	0.24	0.37
alpha-Pinen	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.19	0.21	0.67	0.08
beta-Pinen	0.02	0.02	0.01	0.05	0.05	0.05	0.06	0.09	0.05
3-Caren	0.04	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	**0.18**	0.05
Camphen	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	**0.07**	0.05
Limonen	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06	**0.27**	0.14
Chloroform	0.05	0.05	0.06	0.05	0.08	0.06	0.10	0.05	0.05
1,2-Dichlorethan	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1,1,1-Trichlorethan	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1,1,2-Trichlorethan	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1,1,2,2-Tetrachlorethan	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Tetrachlorkohlenstoff	0.38	0.38	0.39	0.34	0.32	0.29	0.31	0.40	0.36
Trichlorethen	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Tetrachlorethen (Per)	0.02	0.02	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Chlorbenzol	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05
1,2-Dichlorbenzol	-	-	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1,3-Dichlorbenzol	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1,4-Dichlorbenzol	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Tabelle 3 **VOC-Jahresmittelwerte [$\mu g/m^3$] (Fortsetzung)**

	BS Klybeck	BS St.Johann	GR Chur RhB	GR Rothenbrunnen	SG Blumenbergplatz	SG Rorschach	TG Kreuzlingen	UR Altdorf	VD Lausanne
Benzol	0.64	0.53	0.30	0.33	0.50	0.62	0.44	0.73	0.69
Ethylbenzol	0.27	0.20	0.10	0.16	0.26	0.25	0.44	0.31	0.34
Toluol	1.88	1.46	0.61	0.51	2.11	5.54	4.59	1.92	2.44
o-Xylol	0.34	0.26	0.14	0.20	0.36	0.33	0.62	0.42	0.49
m/p-Xylol	0.94	0.70	0.37	0.62	1.00	0.94	1.78	1.21	1.41
Styrol	n.b.	n.b.	-	-	-	-	-	-	-
n-Propylbenzol	n.b.	n.b.	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05
Isopropylbenzol (Cumol)	n.b.	n.b.	-	-	-	-	-	0.01	0.01
o-Ethyltoluol	n.b.	n.b.	0.01	0.01	0.06	0.04	0.04	0.06	0.07
m/p-Ethyltoluol	0.16	0.11	0.07	0.06	0.21	0.16	0.14	0.25	0.28
Mesitylen	0.05	0.05	0.02	0.03	0.08	0.06	0.05	0.09	0.10
Pseudocumol	0.27	0.21	0.08	0.09	0.28	0.19	0.18	0.28	0.31
Hemellitol	n.b.	n.b.	0.02	0.02	0.07	0.05	0.05	0.07	0.08
n-Hexan	0.28	0.41	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
n-Heptan	0.40	0.30	0.14	0.10	0.22	0.32	0.35	0.30	0.31
n-Octan	0.14	0.08	0.04	0.02	0.08	0.07	0.07	0.09	0.11
Isooctan (2,2,4-TMPentan)	0.54	0.46	0.44	0.20	0.54	0.54	0.33	0.52	0.37
n-Nonan	0.11	0.06	0.03	0.02	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07
n-Decan	0.11	0.08	0.15	0.10	0.25	0.26	0.18	0.12	0.23
Undecan	n.b.	n.b.	0.09	0.04	0.09	0.08	0.05	0.05	**0.10**
Dodecan	n.b.	n.b.	0.17	0.11	0.15	0.17	0.18	0.14	**0.20**
Tridecan	n.b.	n.b.	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05
Cyclohexan	0.37	0.35	0.08	0.05	0.15	0.17	0.19	0.15	0.17
alpha-Pinen	0.09	0.08	0.38	0.66	0.12	0.16	0.13	0.23	0.13
beta-Pinen	0.05	0.05	0.12	**0.14**	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01
3-Caren	0.05	0.05	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01
Camphen	0.05	0.05	0.05	**0.07**	0.03	0.03	0.02	0.05	0.02
Limonen	0.08	0.07	0.11	0.07	0.10	0.07	0.05	0.10	0.08
Chloroform	0.10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1,2-Dichlorethan	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06
1,1,1-Trichlorethan	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-Trichlorethan	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,1,2,2-Tetrachlorethan	n.b.	n.b.	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachlorkohlenstoff	0.34	0.35	0.43	0.42	0.39	0.40	0.39	0.42	0.41
Trichlorethen	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachlorethen (Per)	**0.08**	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04
Chlorbenzol	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1,2-Dichlorbenzol	0.05	0.05	-	-	-	-	0.01	-	0.01
1,3-Dichlorbenzol	0.05	0.05	-	-	-	-	-	0.03	-
1,4-Dichlorbenzol	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4 **VOC-Jahresmittelwerte [$\mu g/m^3$] (Fortsetzung)**

	VS Brigerbad	VS Massongex	VS Baltsch. Mobile 1	ZH Bellevue	ZH Grüningen	ZH Kaserne	ZH Kloten Feld	ZH Stampfenbachstr.
Benzol	0.57	0.39	0.99	0.71	0.54	0.43	0.42	0.51
Ethylbenzol	0.18	0.17	0.30	0.35	**0.63**	0.20	0.17	0.25
Toluol	2.25	1.73	3.89	1.92	1.50	1.06	1.03	1.41
o-Xylol	0.24	0.28	0.41	0.49	**0.72**	0.25	0.22	0.33
m/p-Xylol	0.71	0.61	1.23	1.34	**2.45**	0.72	0.62	0.93
Styrol	-	-	0.04	-	0.01	-	-	-
n-Propylbenzol	0.02	0.01	0.02	0.05	**0.06**	0.02	0.02	0.03
Isopropylbenzol (Cumol)	-	-	-	0.01	**0.02**	-	-	-
o-Ethyltoluol	0.03	0.02	0.04	0.07	**0.13**	0.03	0.03	0.04
m/p-Ethyltoluol	0.12	0.09	0.13	0.26	**0.37**	0.10	0.10	0.16
Mesitylen	0.05	0.03	0.06	0.09	**0.16**	0.04	0.03	0.05
Pseudocumol	0.15	0.10	0.16	0.29	**0.76**	0.13	0.11	0.18
Hemellitol	0.04	0.03	0.05	0.07	**0.22**	0.04	0.03	0.05
n-Hexan	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
n-Heptan	0.25	0.16	0.28	0.30	0.55	0.25	0.21	0.24
n-Octan	0.06	0.05	0.09	0.10	0.10	0.07	0.06	0.09
Isooctan (2,2,4-TMPentan)	0.33	0.21	0.40	0.55	0.45	0.31	0.32	0.39
n-Nonan	0.06	0.04	0.07	0.06	0.09	0.05	0.06	0.06
n-Decan	0.16	0.08	0.14	0.17	0.17	0.19	0.17	0.27
Undecan	0.10	0.04	0.06	0.04	0.06	0.07	0.08	0.06
Dodecan	0.11	0.10	0.10	0.09	0.10	0.14	0.16	0.10
Tridecan	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03
Cyclohexan	0.14	0.14	0.23	0.16	0.22	0.15	0.13	0.15
alpha-Pinen	**0.69**	0.21	0.36	0,09	0.13	0.09	0.13	0.11
beta-Pinen	**0.13**	0.04	0.11	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02
3-Caren	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Camphen	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Limonen	0.09	0.05	0.07	0.08	0.07	0.10	0.05	0.15
Chloroform	0.07	0.09	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.07
1,2-Dichlorethan	0.11	0.06	**0.14**	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
1,1,1-Trichlorethan	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-Trichlorethan	0.03	0.02	0.05	0.02	-	0.02	0.01	0.01
1,1,2,2-Tetrachlorethan	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachlorkohlenstoff	0.42	0.41	0.41	0.41	0.35	0.41	0.41	0.39
Trichlorethen	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachlorethen (Per)	0.03	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04
Chlorbenzol	0.03	0.02	0.04	0.01	-	0.02	0.01	0.01
1,2-Dichlorbenzol	0.01	**0.22**	0.01	-	-	0.01	-	-
1,3-Dichlorbenzol	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4-Dichlorbenzol	-	-	-	-	-	-	-	-

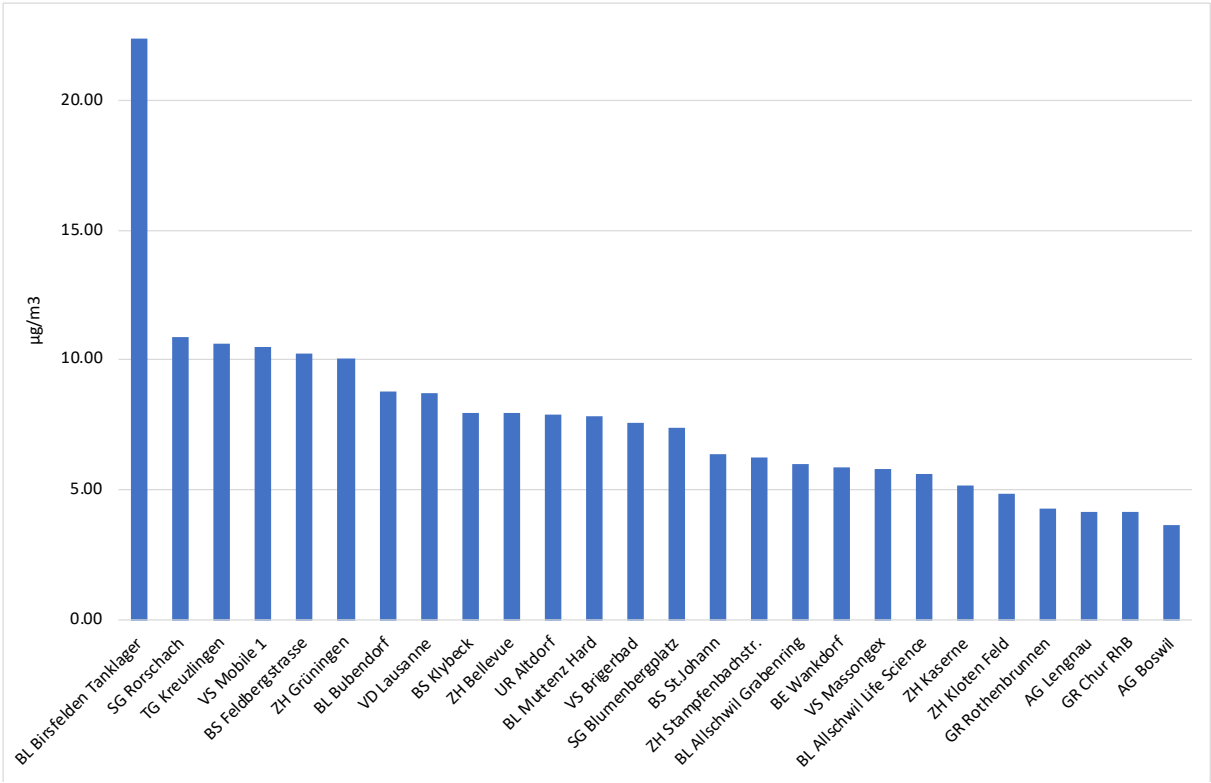


Abbildung 5 Jahresmittelwerte ∑VOC [µg/m³]

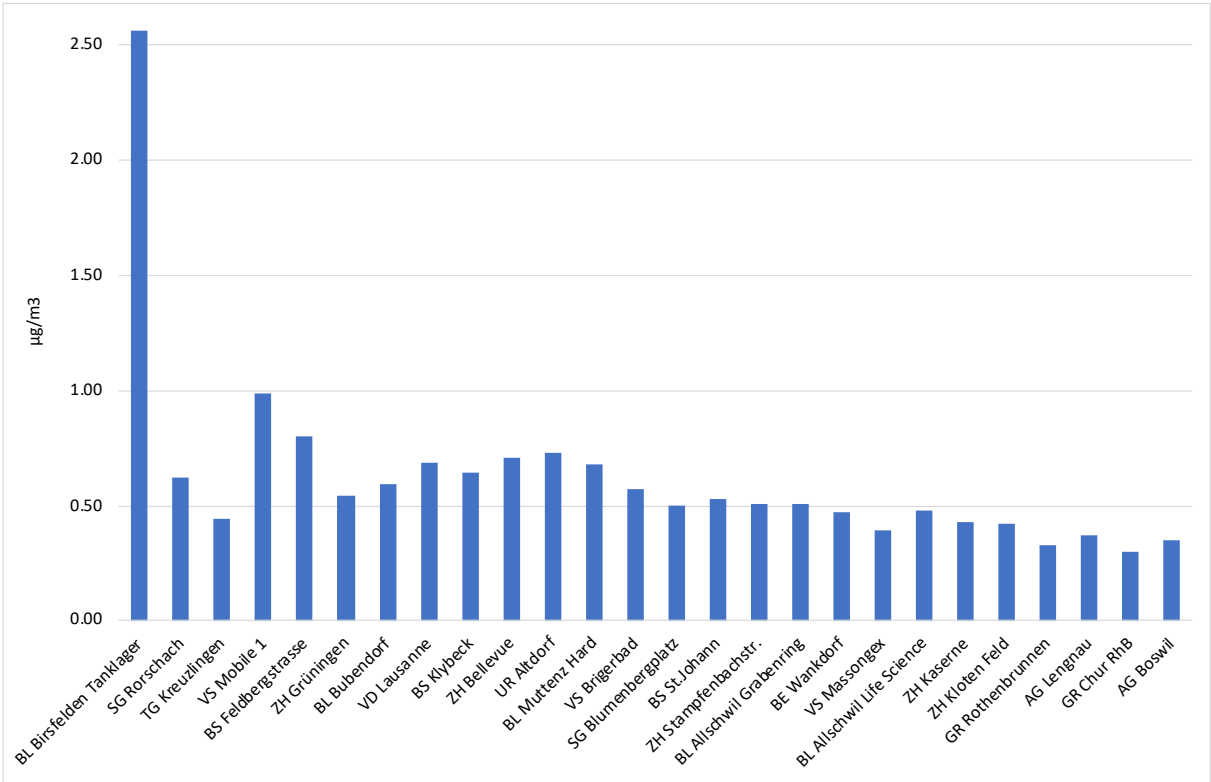


Abbildung 6 Jahresmittelwerte Benzol [µg/m³]

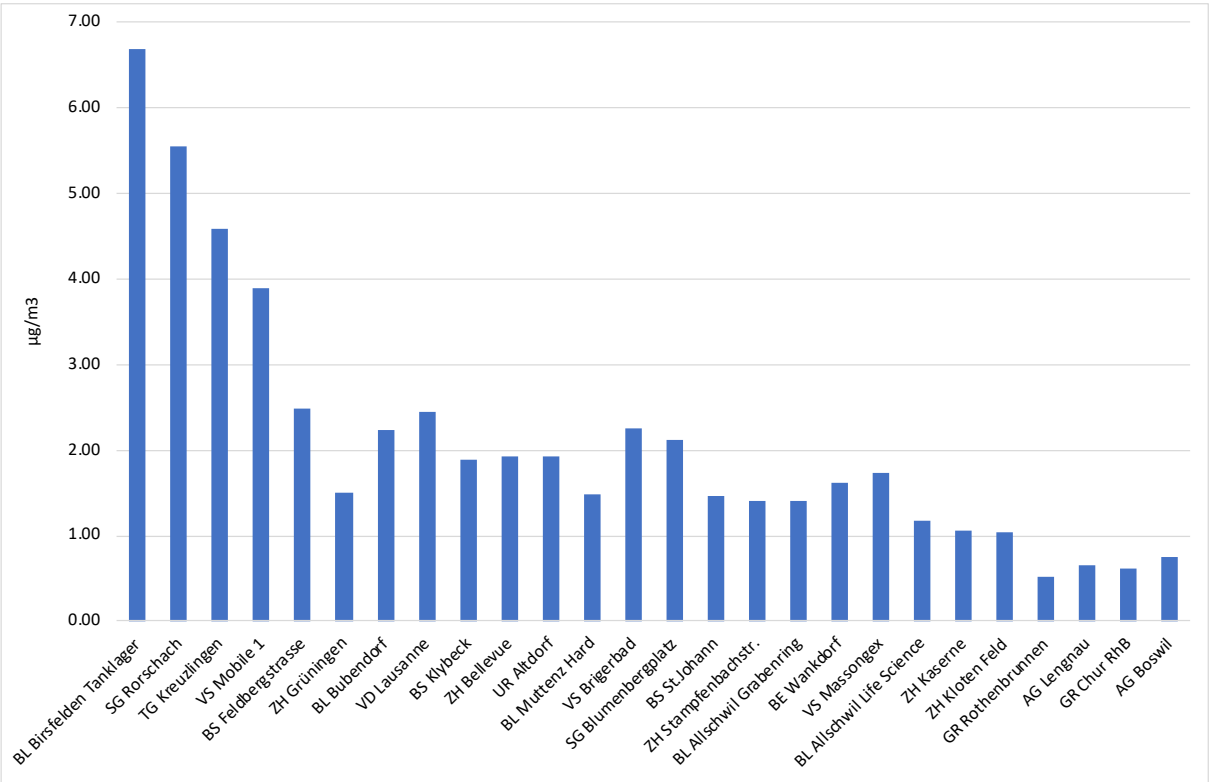


Abbildung 7 Jahresmittelwerte Toluol [µg/m³]

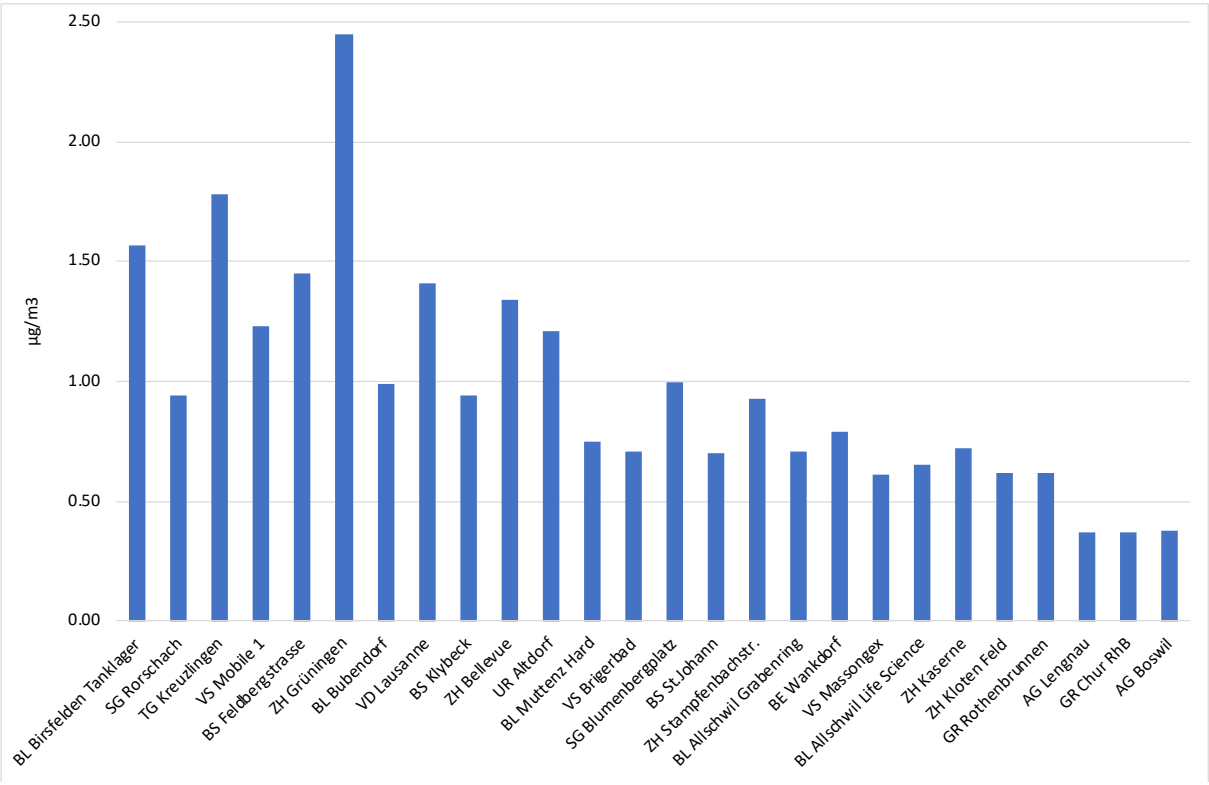


Abbildung 8 Jahresmittelwerte m/p-Xylol [µg/m³]

3.2 Saisonale Schwankungen

In den Abbildungen 9 bis 11 sind die Jahresgänge der ∑VOC aller Standorte dargestellt. Die angegebenen Messdaten entsprechen dabei der durchschnittlichen Probenahmedauer. Die effektiven Expositionszeiten an den einzelnen Standorten können davon leicht abweichen (siehe Anhang 2). Zur besseren Vergleichbarkeit der Jahresgänge sind die einzelnen Messwerte durch den jeweiligen Jahresmittelwert dividiert.
Die Messwerte der stärker belasteten Standorte, die in Abbildung 9 dargestellt sind, schwanken das ganze Jahr um den Mittelwert (siehe auch Kapitel 7). Ein Jahresgang ist kaum erkennbar.
Die mittelstark belasteten Standorte in Abbildung 10 zeigen teilweise starke Schwankungen. Ein Jahresgang ist auch hier nur schwach erkennbar, am deutlichsten in VS Brigerbad.
Bei den schwächer belasteten Standorten ist ein leichter Jahresgang mit tieferer Belastung im Sommerhalbjahr erkennbar (siehe Abbildung 11).

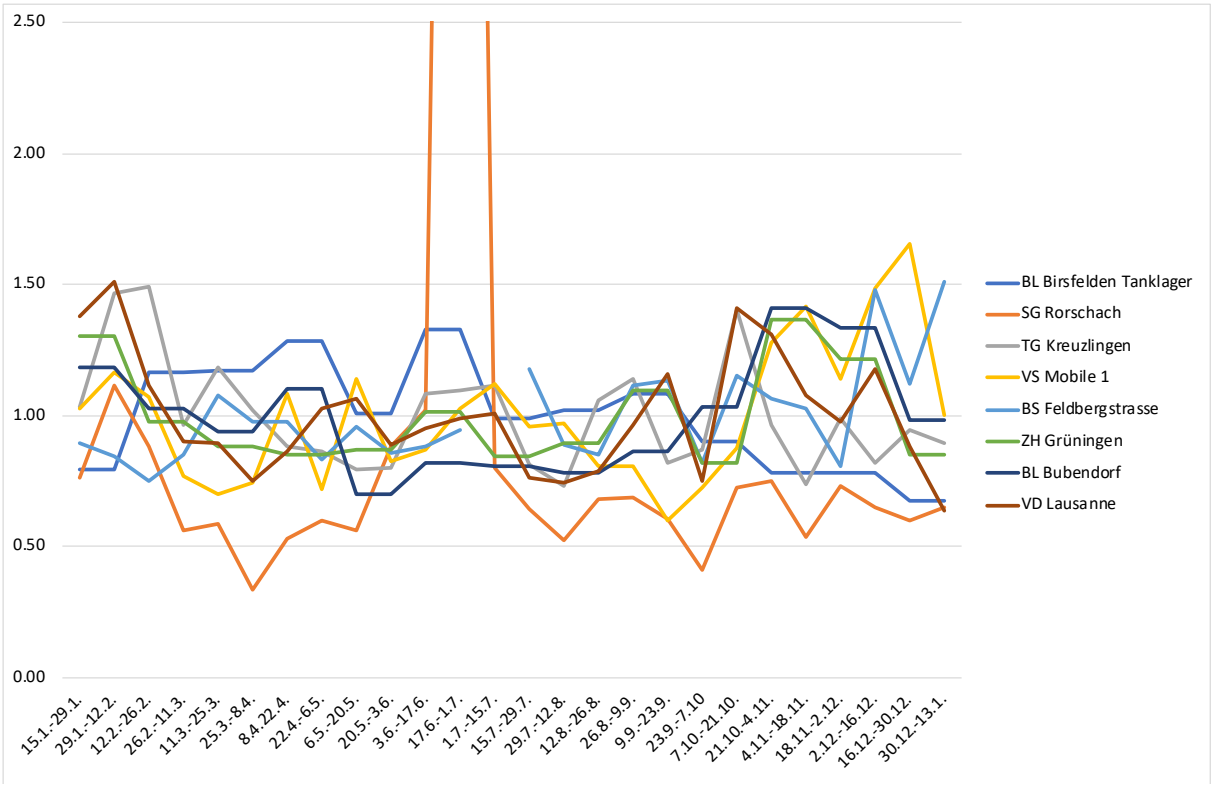


Abbildung 9 Jahresgang 2024 der ∑VOC normiert mit dem Jahresmittelwert

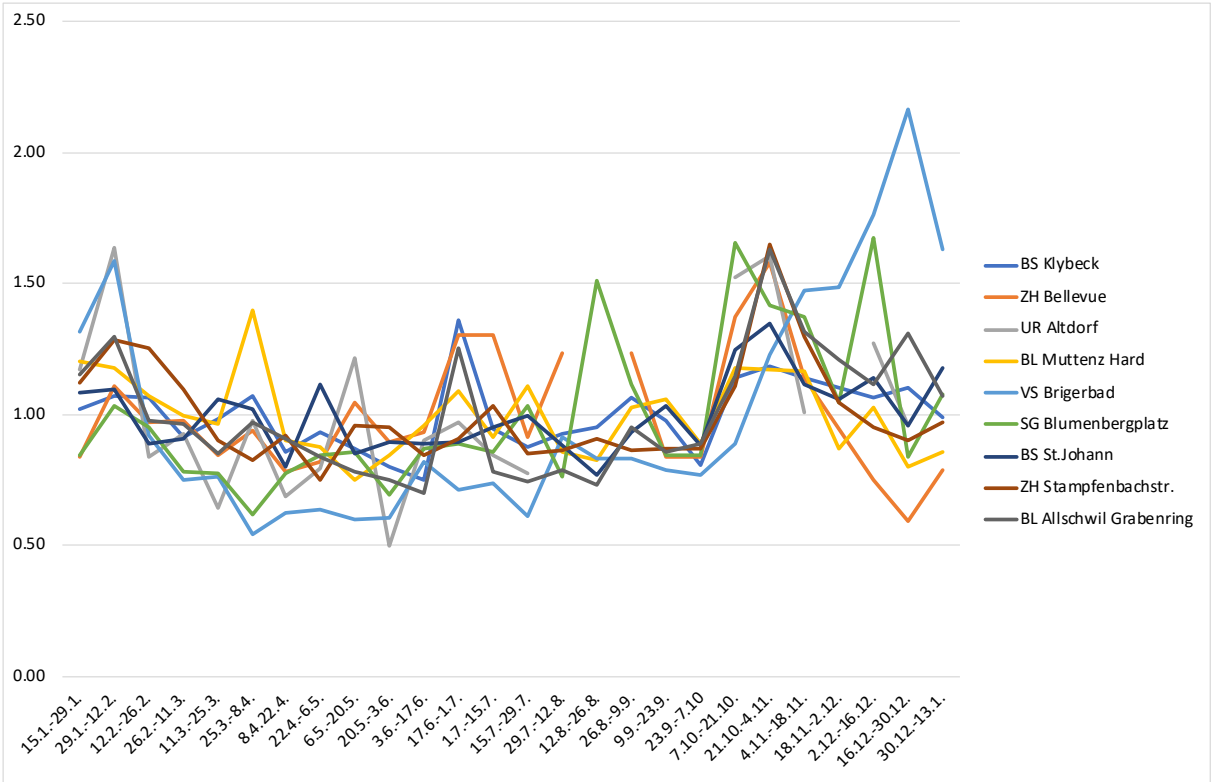


Abbildung 10 Jahresgang 2024 der ∑VOC normiert mit dem Jahresmittelwert

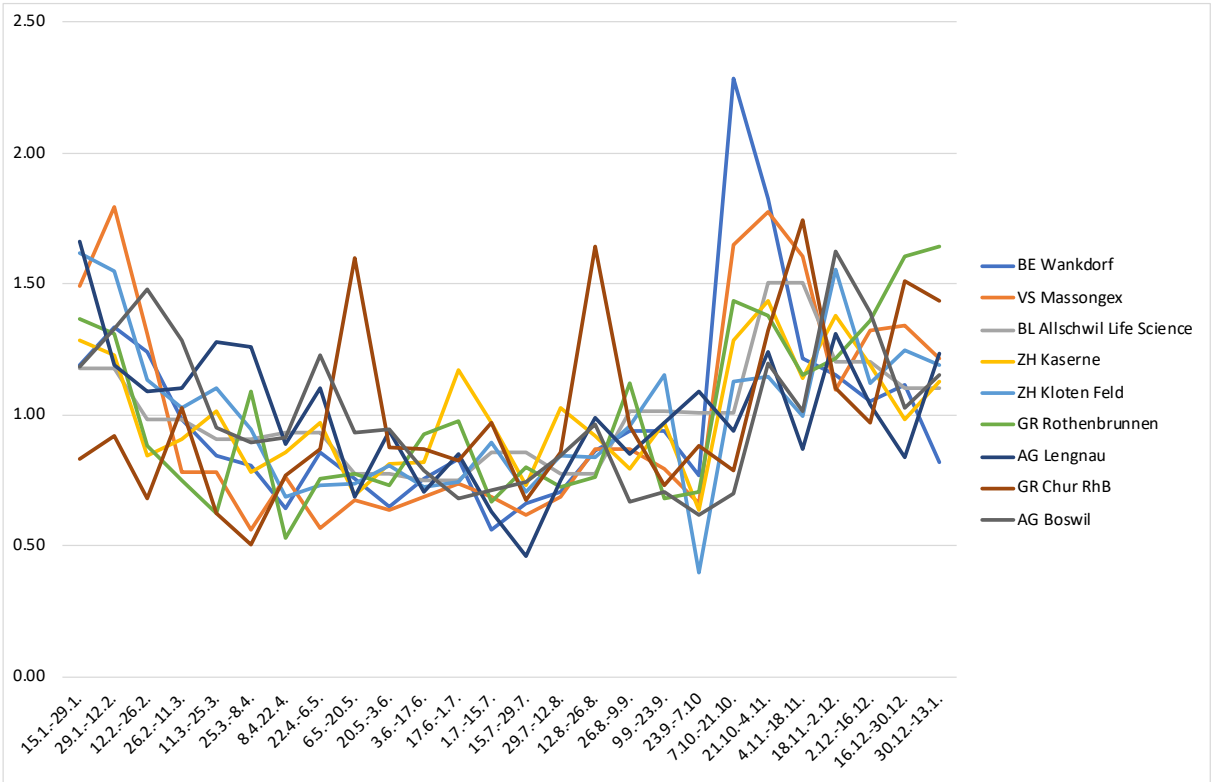


Abbildung 11 Jahresgang 2024 der ∑VOC normiert mit dem Jahresmittelwert

In den Abbildungen 12 bis 14 sind die Benzol-Ergebnisse aller 26 Standorte dargestellt. Mit Ausnahme des Standortes Birsfelden Tanklager zeigen alle Standorte einen deutlichen Jahresgang mit geringerer Belastung im Sommer. Bei den Strassenverkehrs-geprägten Standorten ist dieser weniger ausgeprägt als an ländlichen.

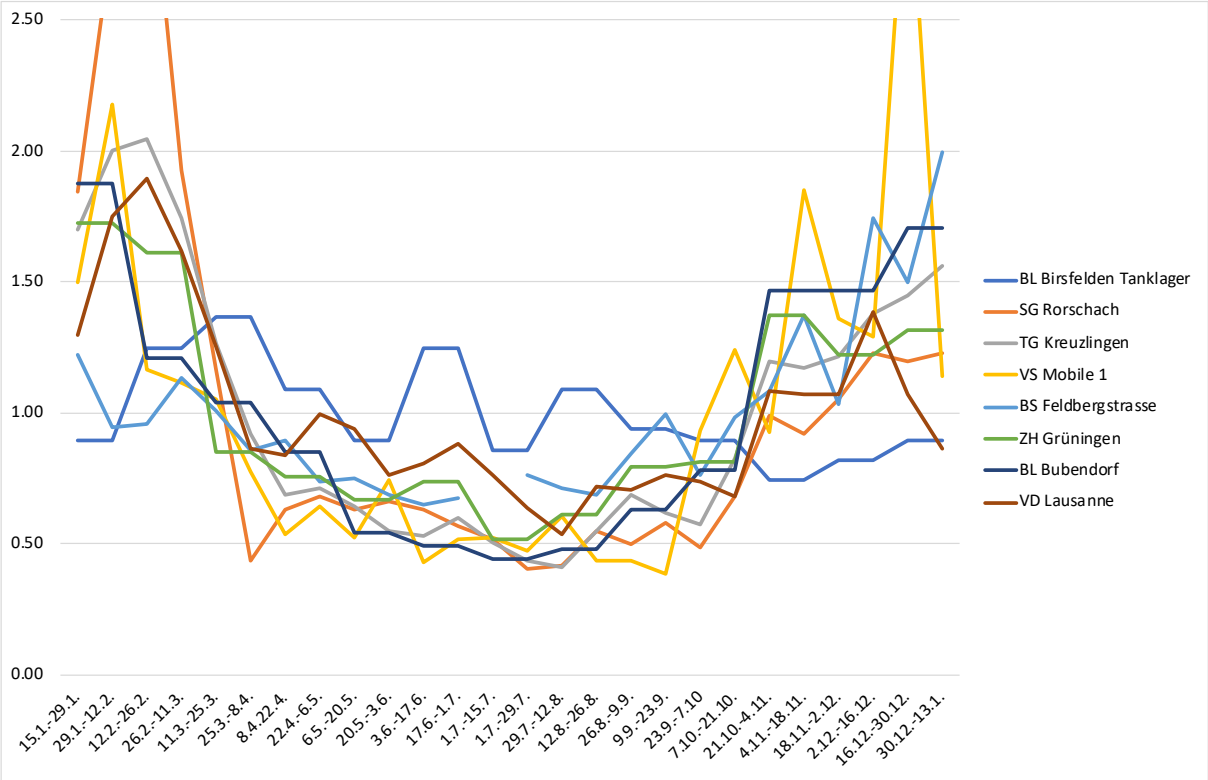


Abbildung 12 Jahresgang 2024 Benzol normiert mit dem Jahresmittelwert

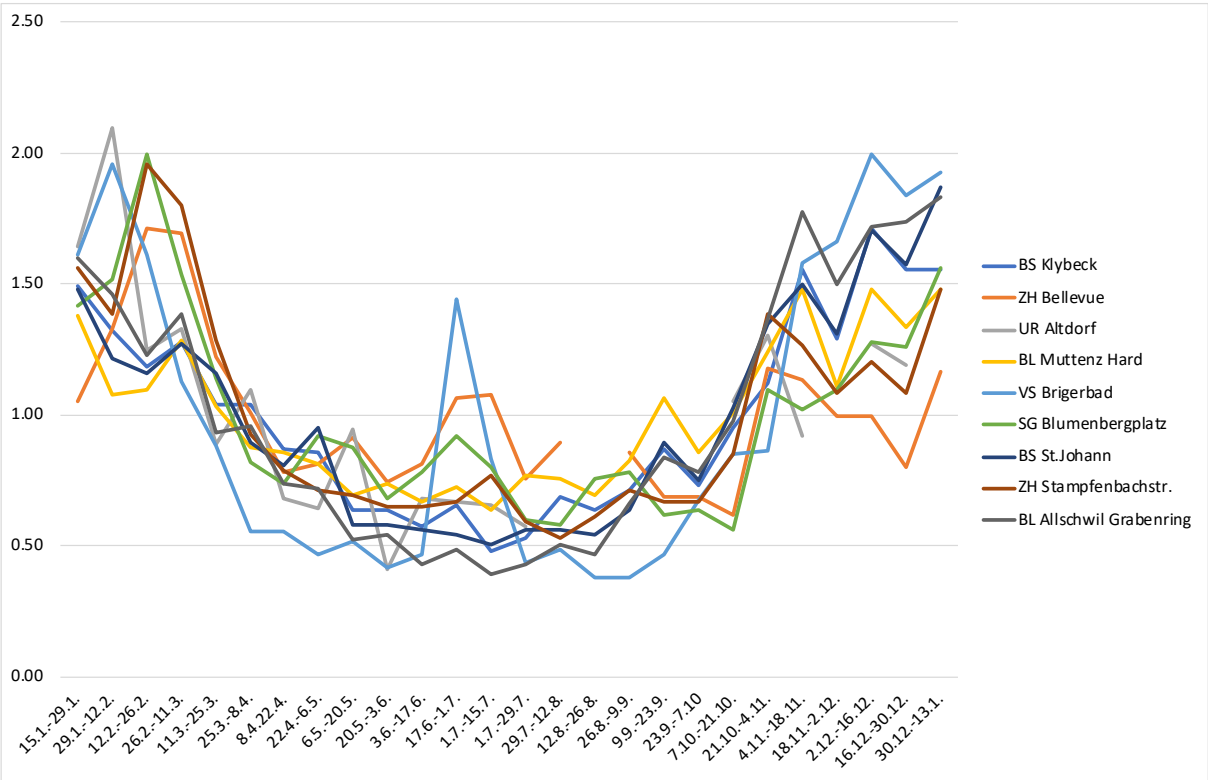


Abbildung 13 Jahresgang 2024 Benzol normiert mit dem Jahresmittelwert

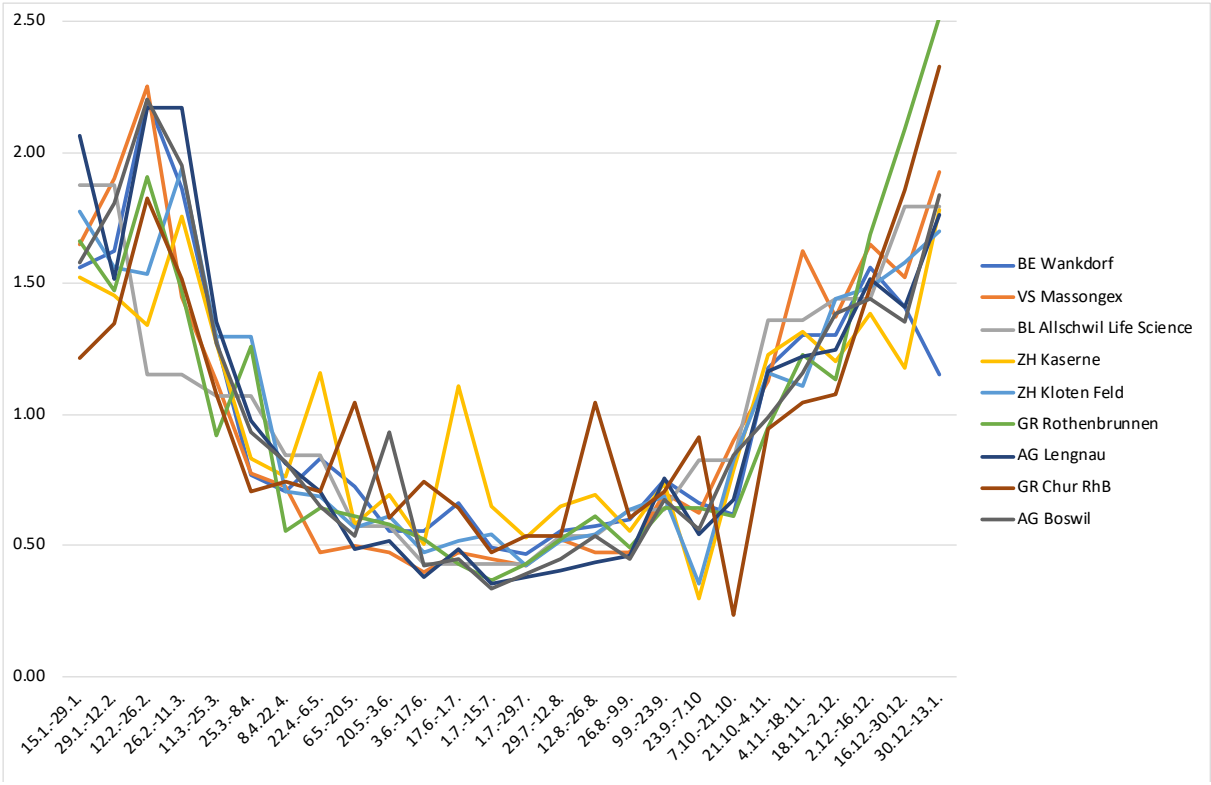


Abbildung 14 Jahresgang 2024 Benzol normiert mit dem Jahresmittelwert

In Tabelle 5 ist das Verhältnis der Benzol Mittelwerte der Sommermonate zu den Wintermonaten dargestellt.

Tabelle 5 Verhältnis Benzol-Mittelwerte Sommer (Mai - Oktober) / Winter (November – April)

	Sommer/Winter		Sommer/Winter
BL Birsfelden Tanklager	0.90	BE Wankdorf	0.41
ZH Bellevue	0.66	VS Baltschieder Mobile 1	0.40
BL Muttenz Hard	0.61	BL Allschwil Grabenring	0.39
BS Feldbergstrasse	0.58	BL Allschwil Life Science	0.39
VD Lausanne	0.57	VS Brigerbad	0.39
SG Blumenbergplatz	0.53	BL Bubendorf	0.39
UR Altdorf	0.50	TG Kreuzlingen	0.38
ZH Grüningen	0.50	ZH Kloten Feld	0.36
ZH Kaserne	0.48	SG Rorschach	0.35
BS Klybeck	0.48	AG Boswil	0.35
ZH Stampfenbachstr.	0.48	GR Rothenbrunnen	0.34
BS St.Johann	0.47	VS Massongex	0.33
GR Chur RhB	0.47	AG Lengnau	0.31

Die Abbildungen 15 bis 17 zeigen die Toluol-Resultate. Anders als für Benzol ist beim Toluol einzig an ländlichen Standorten ein schwacher Jahresgang erkennbar. Die Resultate der einzelnen Messperioden schwanken an den meisten Messstellen stark. Der höchste Einzelwert wurden in Rorschach während Strassenteerung- einem sonst nicht sehr stark belasteten Standort – Ende Juni gemessen (siehe Abbildung 15).

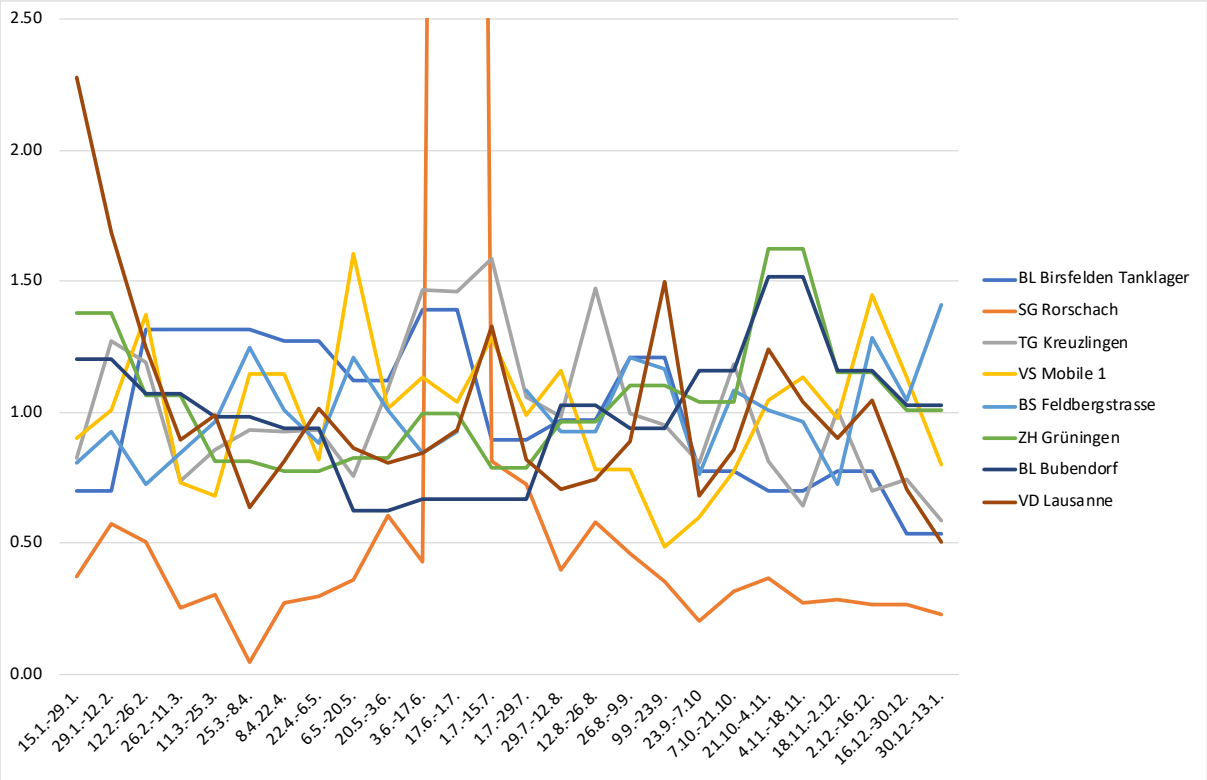


Abbildung 15 Jahresgang 2024 Toluol normiert mit dem Jahresmittelwert

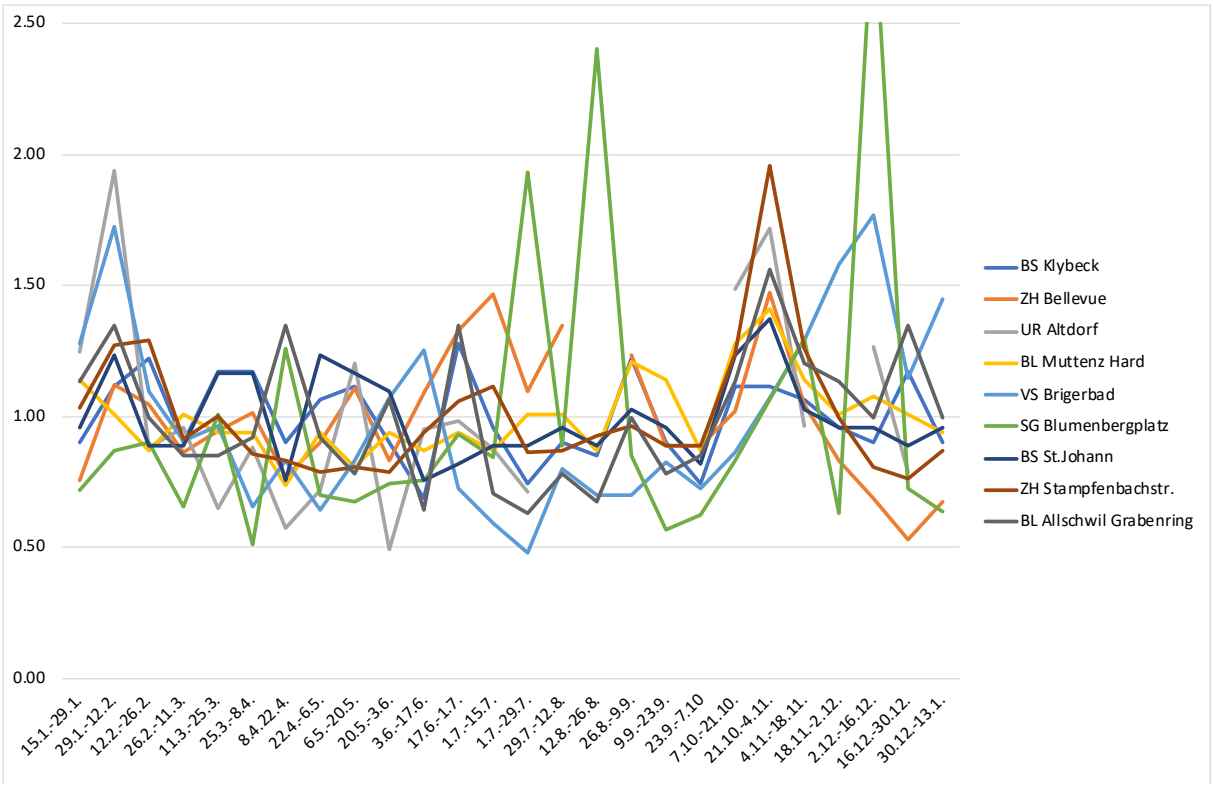


Abbildung 16 Jahresgang 2024 Toluol normiert mit dem Jahresmittelwert

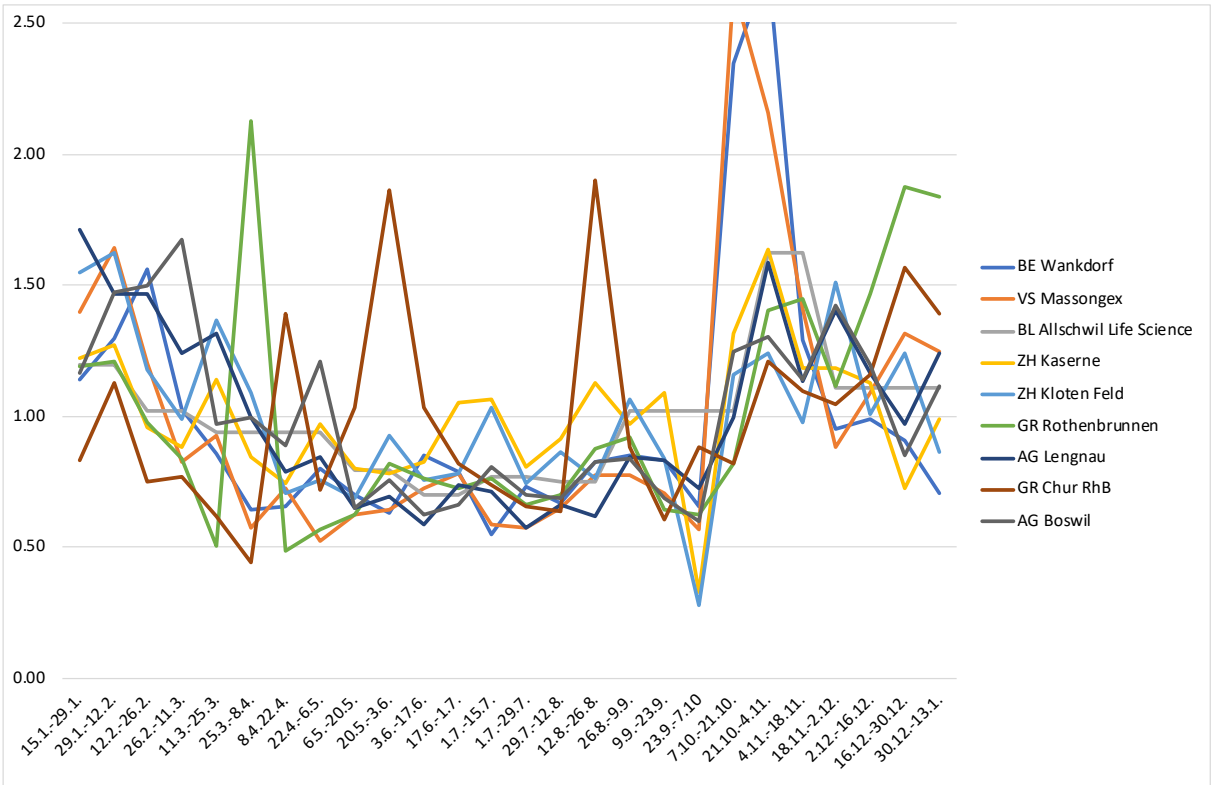


Abbildung 17 Jahresgang 2024 Toluol normiert mit dem Jahresmittelwert

3.3 Minima und Maxima

In Tabelle 6 sind die Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte für ∑VOC, Benzol und Toluol aller Standorte zusammen mit den Jahresmittelwerten aufgelistet.

Ins Auge stechen die extremen Unterschiede zwischen Minimum und Maximum bei der ∑VOC und insbesondere beim Toluol am Standort Rorschach. Diese dürften auf Bau- und Belagsarbeiten in unmittelbarer Nähe zurückzuführen sein (siehe Kapitel 7 und Anhang1).

Tabelle 6 **Mittelwerte, Minima und Maxima**

	∑VOC			**Benzol**			**Toluol**		
	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum
BL Birsfelden Tanklager	22.36	15.07	29.79	2.56	1.90	**3.50**	6.68	3.60	9.30
SG Rorschach	10.86	3.68	**99.41**	0.62	0.25	2.01	5.54	0.26	**90.91**
TG Kreuzlingen	10.62	7.76	15.84	0.44	0.18	0.89	4.59	2.69	7.30
VS Baltsch. Mobile 1	10.48	6.22	17.25	0.99	0.39	3.22	3.89	1.95	6.44
BS Feldbergstrasse	10.26	7.69	15.52	0.80	0.52	1.60	2.48	1.80	3.50
ZH Grüningen	10.09	8.30	13.78	0.54	0.28	0.93	2.89	1.12	2.34
BL Bubendorf	8.80	6.19	12.40	0.59	0.26	1.10	2.24	1.40	3.40
VD Lausanne	8.76	5.56	13.24	0.69	0.37	1.31	2.44	1.24	5.56
BS Klybeck	7.99	6.02	10.90	0.64	0.31	1.10	1.88	1.30	2.40
ZH Bellevue	7.97	4.76	12.63	0.71	0.44	1.22	1.92	1.02	2.83
UR Altdorf	7.94	3.97	13.02	0.73	0.30	1.53	1.92	0.95	3.72
BL Muttenz Hard	7.82	5.85	10.95	0.68	0.43	1.00	1.49	1.10	2.10
VS Brigerbad	7.58	4.08	16.28	0.57	0.22	1.15	2.25	1.11	4.08
SG Blumenbergplatz	7.40	4.57	12.42	0.50	0.28	1.00	2.11	1.08	6.22
BS St.Johann	6.40	4.93	8.62	0.52	0.27	1.00	1.46	1.10	2.00
ZH Stampfenbachstr.	6.25	4.70	10.30	0.51	0.27	0.99	1.41	1.08	2.76
BL Allschwil Grabenring	5.99	4.20	9.78	0.51	0.20	0.94	1.41	0.89	2.20
BE Wankdorf	5.89	3.32	13.46	0.47	0.22	1.03	1.62	0.89	4.40
VS Massongex	5.81	3.25	10.38	0.39	0.16	0.90	1.73	0.94	4.70
BL Allschwil Life Science	5.63	4.23	8.48	0.48	0.21	0.91	1.17	0.82	1.90
ZH Kaserne	5.17	3.29	7.41	0.43	0.13	0.77	1.06	0.35	1.74
ZH Kloten Feld	4.88	1.95	7.90	0.42	0.15	0.82	1.03	0.29	1.68
GR Rothenbrunnen	4.30	2.29	7.06	0.33	0.12	0.82	0.51	**0.25**	1.09
AG Lengnau	4.20	**1.93**	6.99	0.37	0.13	0.80	0.66	0.38	1.13
GR Chur RhB	4.19	2.11	7.32	0.30	**0.07**	0.69	0.61	0.27	1.16
AG Boswil	3.65	2.26	5.94	0.35	0.12	0.78	0.75	0.45	1.26

3.4 Monoterpene

Ab 1996 wurden bei den schweizerischen VOC-Immissionsmesskampagnen neben Aromaten, Aliphaten und chlorierten Verbindungen auch die Monoterpene alpha- und beta-Pinen, Camphen, 3-Caren und Limonen bestimmt. Zu Beginn lagen die meisten Messwerte unter der damaligen Vertrauensgrenze von 0.3 $\mu g/m^3$ und nur an Standorten in der Nähe von Wald oder holzverarbeitender Industrie (Spanplattenwerk, Holztrocknungs-Anlage) wurden ganzjährig Konzentrationen über dieser Grenze erreicht. Mit der Senkung der Vertrauensgrenze auf 0.02 bis 0.03 $\mu g/m^3$ wurde eine Betrachtung dieser Stoffgruppe interessanter.
Die Summe der fünf analysierten Monoterpene liegt an den meisten Standorten im Jahresmittel zwischen 0.2 und 0.4 $\mu g/m^3$, an den Stationen Baltschieder Mobile 1 und Chur RhB zwischen 0.6 und 0.7, in Rothenbrunnen und Brigerbad um 1 und in Muttenz Hard bei 1.28 $\mu g/m^3$.

Monoterpene sind natürlichen Ursprungs, werden jedoch auch als Lösungsmittel resp. Duftstoffe in Haushalts- und Gewerbeprodukten eingesetzt. Dabei kommt Limonen gegenüber den anderen Monoterpenen vermehrt zum Einsatz.

Die Jahresgänge von alpha-Pinen an allen Standorten sind in Abbildung 18, 19 und 20 dargestellt. Die Konzentrationen sind an ländlichen, respektive Wald-nahen Standorten (Abbildung 18) deutlich höher als an städtischen. Teilweise ist ein leichter Jahresgang mit höheren Werten im Sommer zu erkennen. Die höchsten Konzentrationen zeigen die Standorte Muttenz Hard und Brigerbad jedoch im Winter.

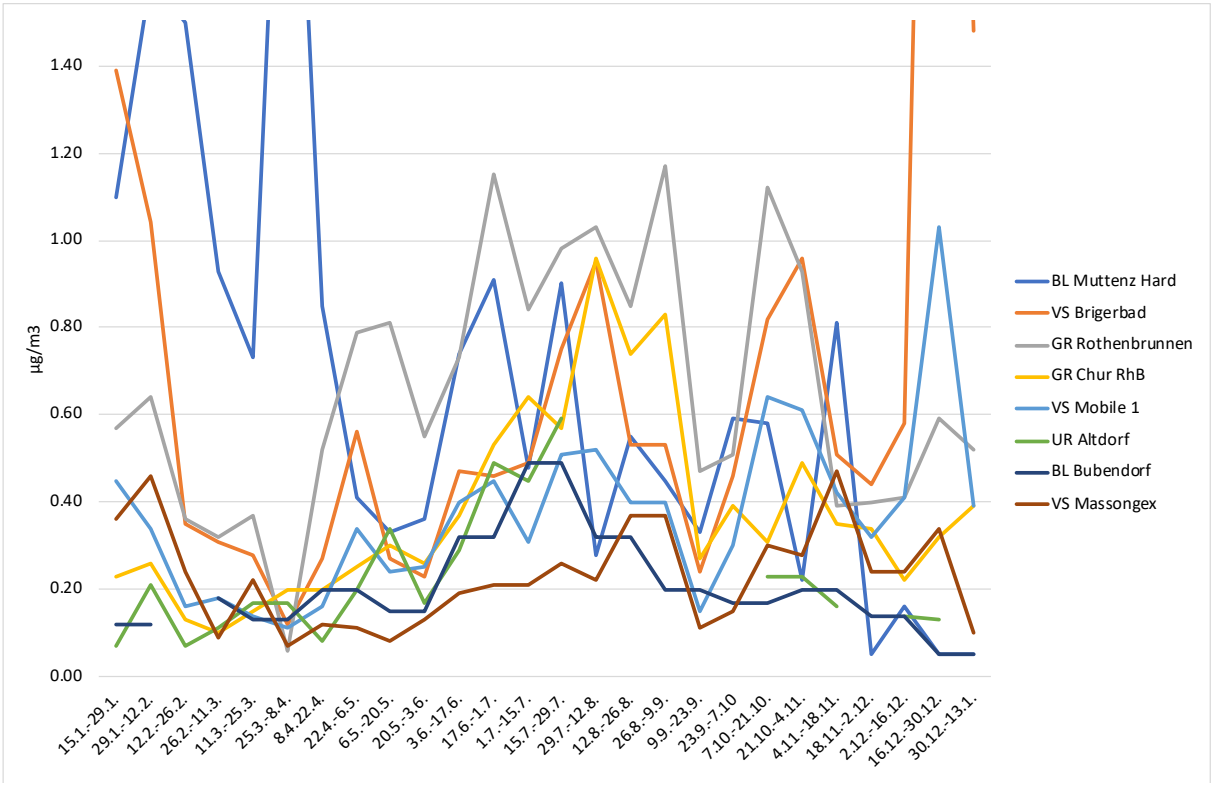


Abbildung 18 alpha-Pinen Jahresgang 2024 [$\mu g/m^3$]

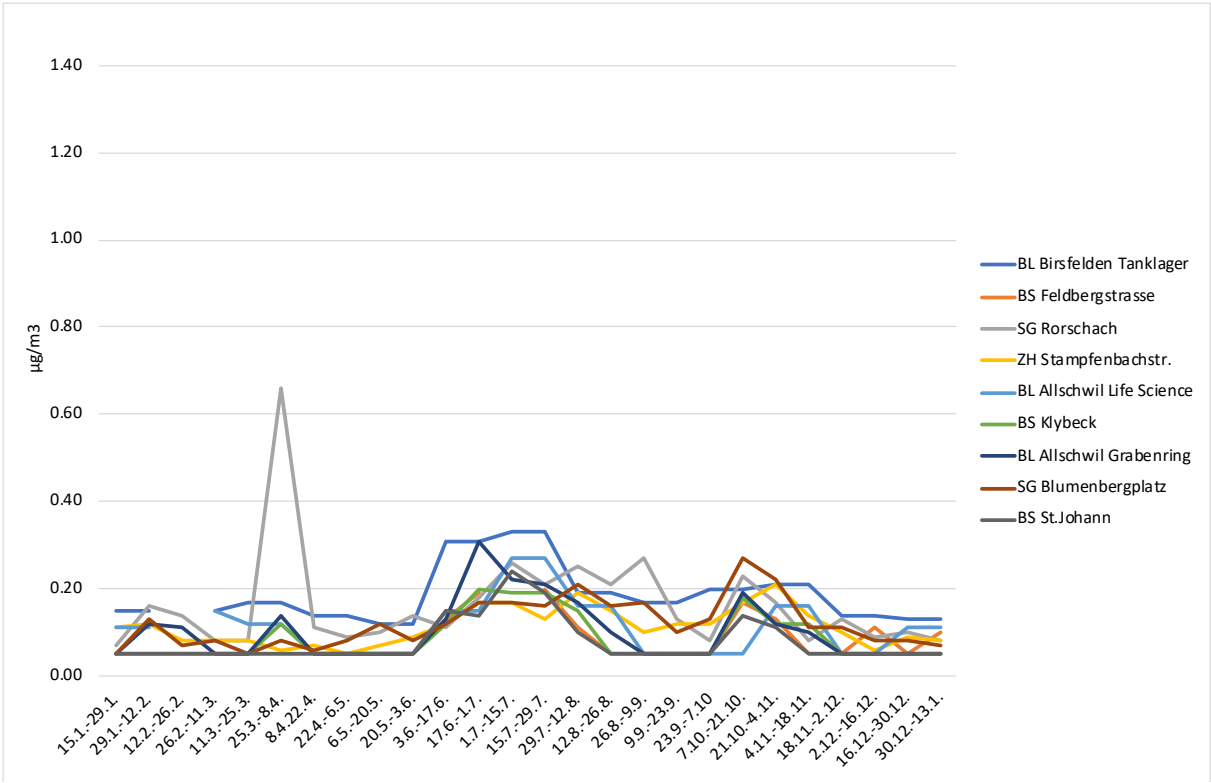


Abbildung 19 alpha-Pinen Jahresgang 2024 [µg/m³]

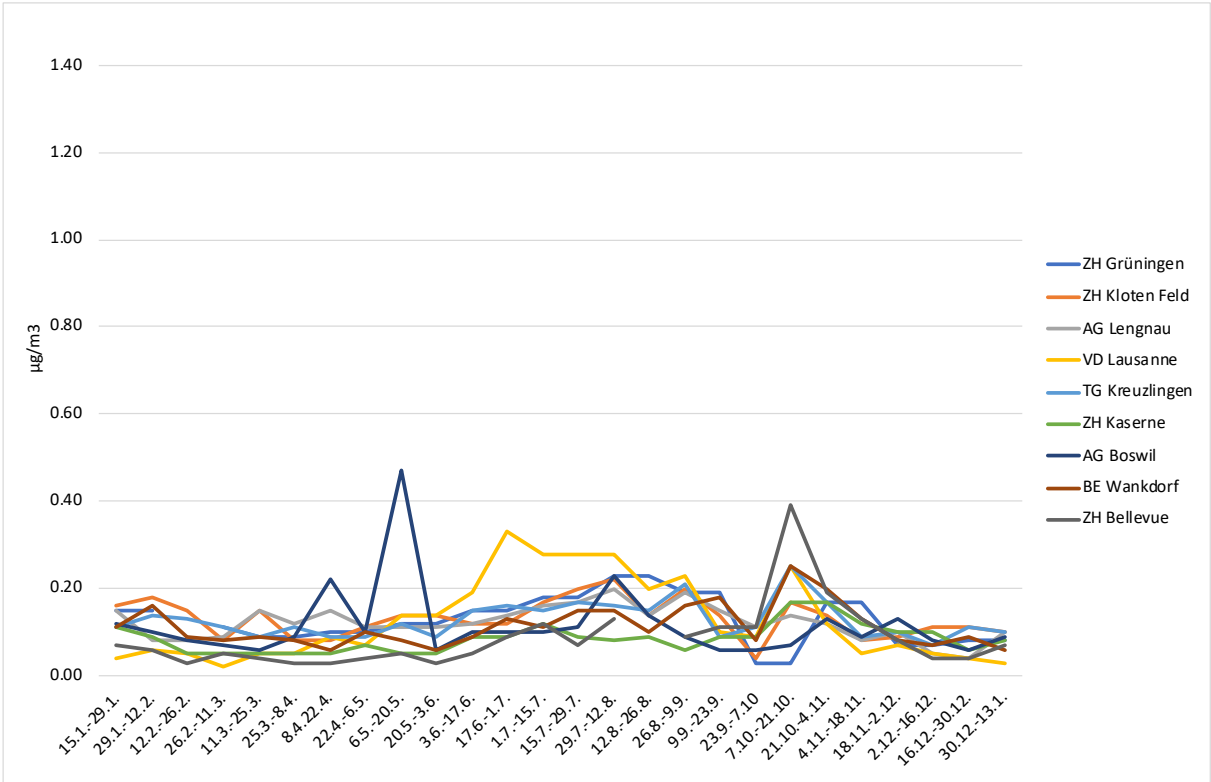


Abbildung 20 alpha-Pinen Jahresgang 2024 [µg/m³]

In den Abbildungen 21, 22 und 23 sind die Limonen-Jahresgänge aller Standorte dargestellt.
Das höchste Limonen-Jahresmittel weist der Waldstandort Muttenz Hard auf (0.27 $\mu g/m^3$). Die Konzentrationsunterschiede zwischen den Standorten sind deutlich geringer als bei alpha-Pinen. Jahresgänge sind kaum zu erkennen.

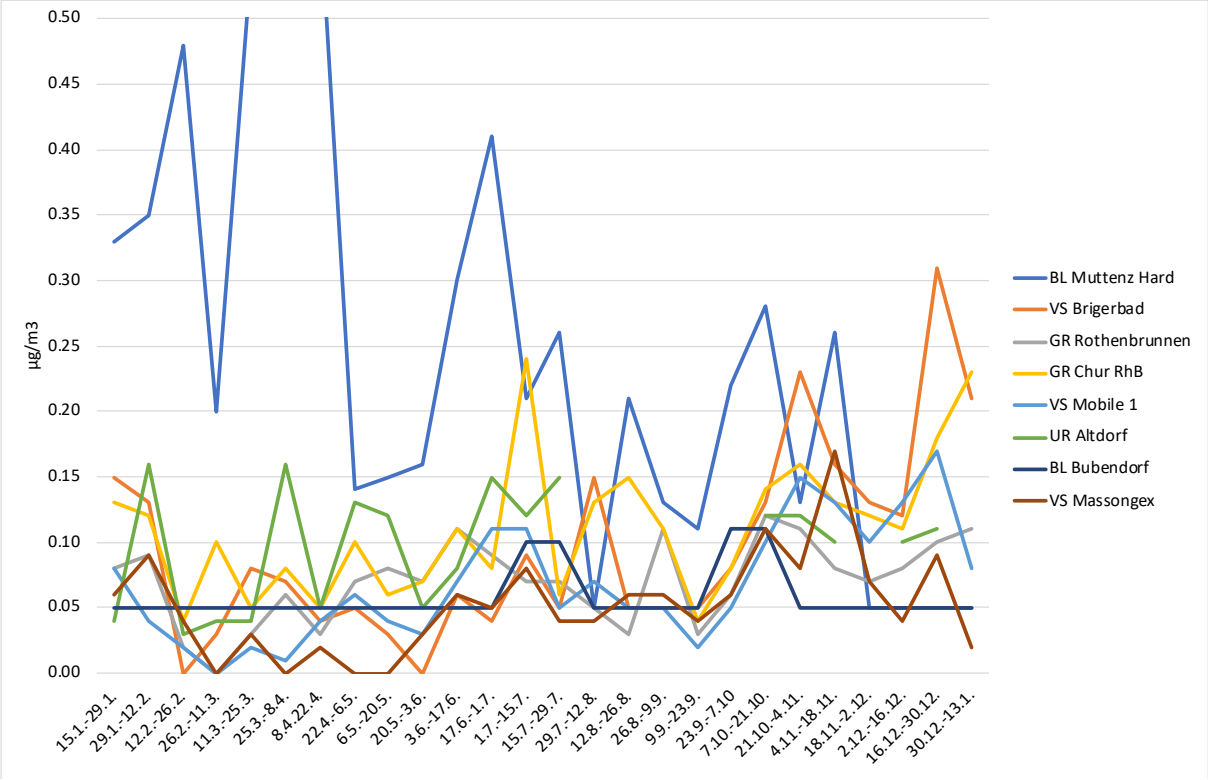


Abbildung 21 Limonen Jahresgang 2024 [$\mu g/m^3$]

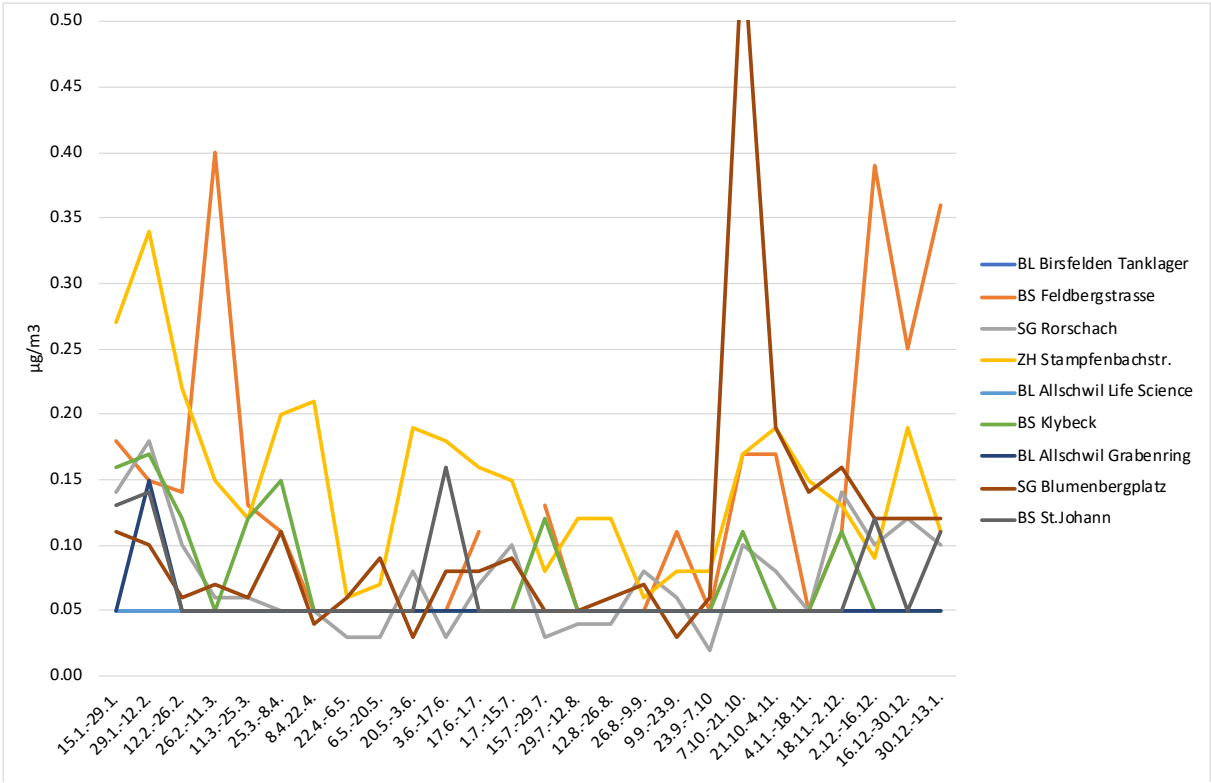


Abbildung 22 Limonen Jahresgang 2024 [µg/m³]

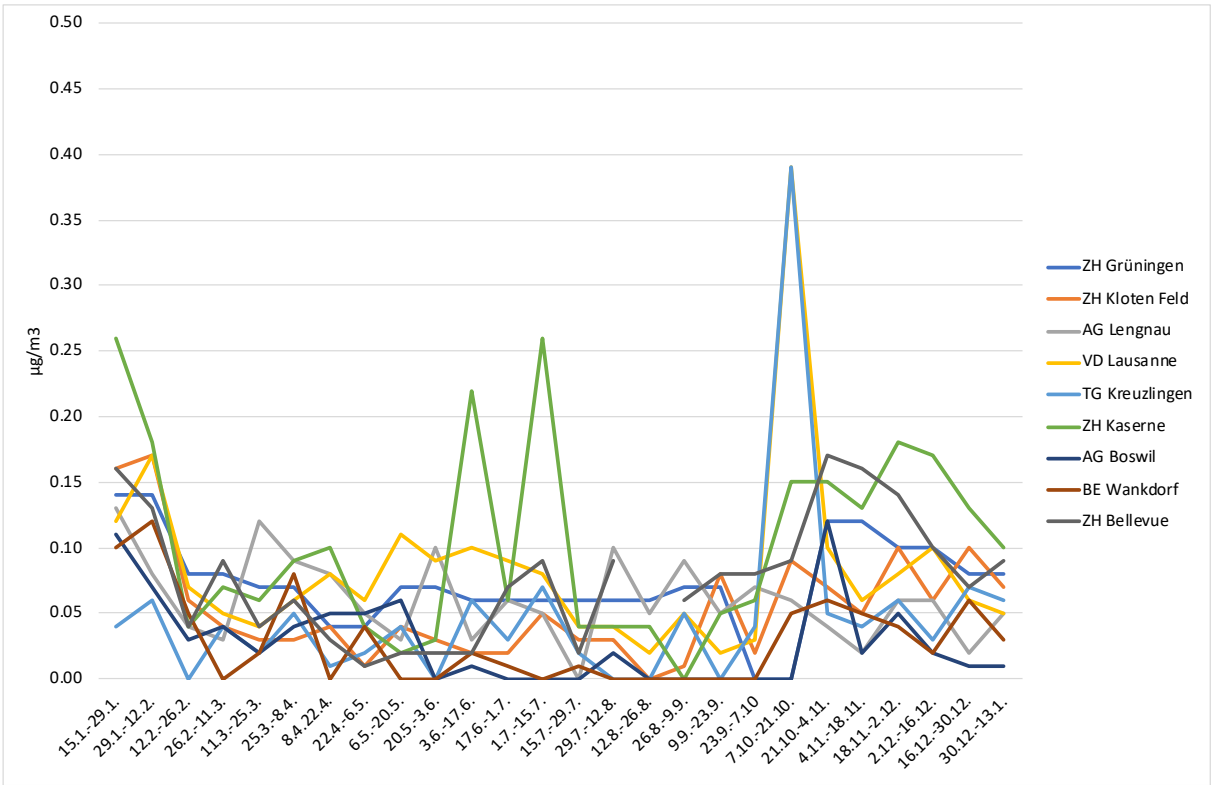


Abbildung 23 Limonen Jahresgang 2024 [µg/m³]

Das Verhältnis von alpha-Pinen[3] zu Limonen (Tabelle 7) zeigt sich, wie auch in den Vorjahren, als guter Indikator für eine Charakterisierung der Standortumgebung. Städtische Standorte haben ein Verhältnis unter 1.5 und ländliche über 3. Dazwischen liegen industrielle Zonen und städtischer Hintergrund. Das Verhältnis alpha-Pinen zu Limonen ist an allen Standorten vergleichbar zu dem der Messkampagne 2019.

Tabelle 7 **Verhältnis alpha-Pinen zu Limonen**

BS Feldbergstrasse	0.86
ZH Stampfenbachstr.	0.88
ZH Kaserne	1.14
BS Klybeck	1.38
BS St.Johann	1.38
ZH Bellevue	1.42
SG Blumenbergplatz	1.58
ZH Grüningen	1.93
BL Allschwil Grabenring	1.95
BL Muttenz Hard	2.12
AG Lengnau	2.22
BL Allschwil Life Science	2.28
VD Lausanne	2.31
UR Altdorf	2.39
SG Rorschach	2.90
TG Kreuzlingen	3.33
BL Bubendorf	3.59
BL Birsfelden Tanklager	3.71
GR Chur RhB	3.80
ZH Kloten Feld	3.97
BE Wankdorf	4.18
AG Boswil	4.42
VS Massongex	4.54
VS Baltschieder Mobile 1	6.12
VS Brigerbad	7.35
GR Rothenbrunnen	10.62

[3] Auch das Verhältnis aller Monoterpene zu Limonen zeigte dasselbe Ergebnis der Standortumgebungs-Charakterisierung.

3.5 Verhältnis Toluol / Benzol

Die aus den Einzelwerten gebildeten Jahresmittel des Toluol/Benzol-Verhältnisses sowie die Minima und Maxima sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Aus früheren Kampagnen ist bekannt, dass dieses Verhältnis im Siedlungsgebiet normalerweise zwischen 3 und 5 liegt, in Industrie- und Gewerbegebieten höher und in ländlichen Gegenden tiefer. 2024 zeigen Rorschach (auf Grund eines Ereignisses) und Kreuzlingen (Industriegebiet) Werte grösser 14. Im Wallis liegen die Werte um 5. In Rothenbrunnen, Lengnau, Muttenz Hard und Chur RhB liegt das Verhältnis durchschnittlich unter 2.2. An diesen ländlichen Orten werden die Immissionen durch stark gealterte Luftmassen geprägt, in welchen das reaktivere Toluol bereits stärker abgebaut ist als das Benzol.
Hohe Maxima zeigen neben Rorschach, Kreuzlingen und dem Wallis auch St. Gallen und Bern. Die tiefsten Minima wurden in Graubünden und in Rorschach gemessen.

Tabelle 8 Toluol / Benzol - Verhältnis

	Jahresmittel	Minimum	Maximum
SG Rorschach	14.63	0.96	259.74
TG Kreuzlingen	14.11	3.96	33.18
VS Baltschieder Mobile 1	5.24	1.41	12.15
VS Massongex	5.10	2.39	13.06
VS Brigerbad	4.82	2.01	10.74
SG Blumenbergplatz	4.75	1.73	13.57
BL Bubendorf	4.44	2.30	8.21
BE Wankdorf	3.93	1.91	13.07
VD Lausanne	3.70	1.95	6.91
BS Feldbergstrasse	3.33	2.04	5.00
BS Klybeck	3.30	1.55	5.81
BL Allschwil Grabenring	3.29	1.49	7.60
BS St.Johann	3.17	1.40	5.48
ZH Stampfenbachstr.	3.09	1.42	4.56
ZH Grüningen	3.01	1.76	4.21
ZH Bellevue	2.84	1.37	4.45
BL Allschwil Life Science	2.81	1.49	4.29
ZH Kloten Feld	2.80	1.24	4.65
UR Altdorf	2.79	1.74	3.86
ZH Kaserne	2.75	1.24	4.29
BL Birsfelden Tanklager	2.59	1.57	3.38
AG Boswil	2.52	1.29	5.08
GR Chur RhB	2.48	0.85	7.14
BL Muttenz Hard	2.32	1.40	3.21
AG Lengnau	2.13	1.03	3.62
GR Rothenbrunnen	1.81	0.81	3.25

In den Abbildungen 24 bis 26 sind die Jahresgänge der Toluol/Benzol-Verhältnisse dargestellt. Auffällig sind die hohen Werte im Sommer in Kreuzlingen. Einzelne Extremwerte sind in Rorschach, St.Gallen, Bern und im Wallis erkennbar.
Alle Stationen weisen einen Jahresgang mit höheren Werten im Sommer auf. Im Winter sind stabilere Luftmassen zu erwarten, so dass das weniger reaktive Benzol stärker in Erscheinung tritt. Zudem verdunsten im Sommer mehr Lösungsmittel. Benzol wird im Gegensatz zu Toluol heute praktisch nicht mehr als Lösungsmittel verwendet.

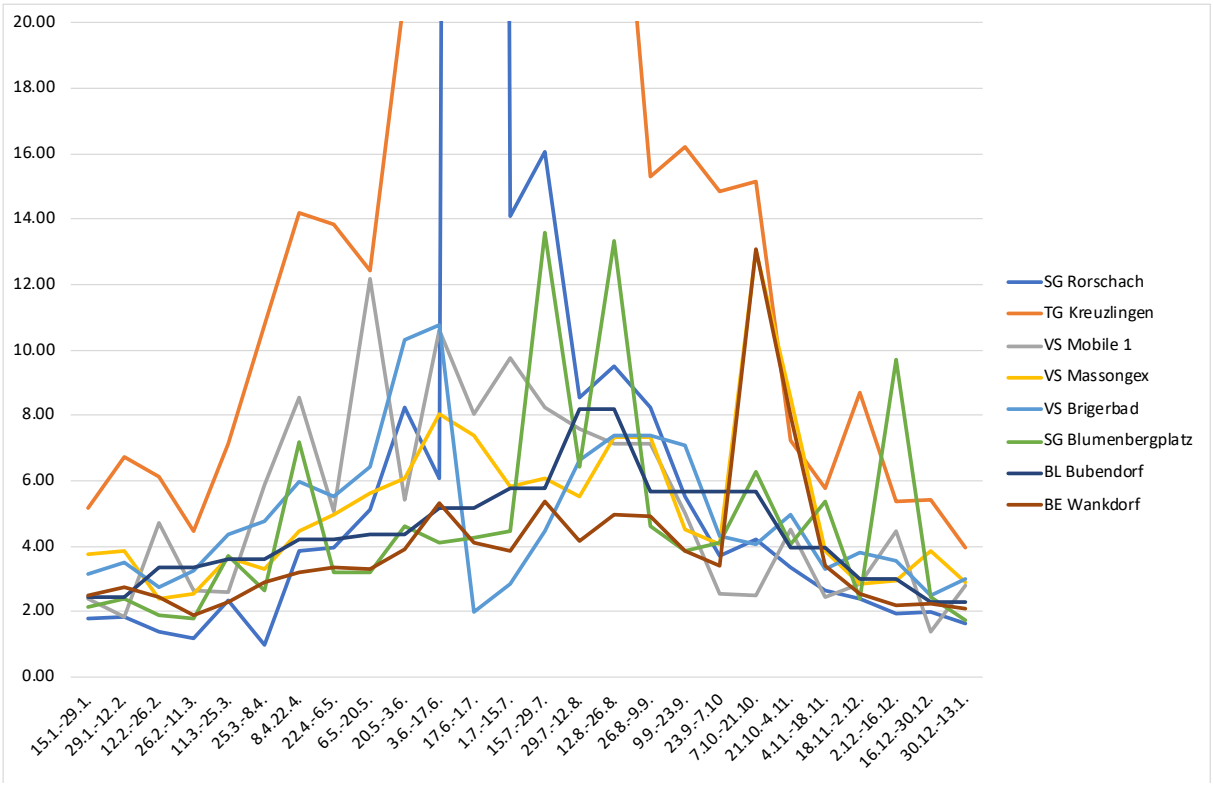


Abbildung 24 Jahresgang Toluol / Benzol – Verhältnis

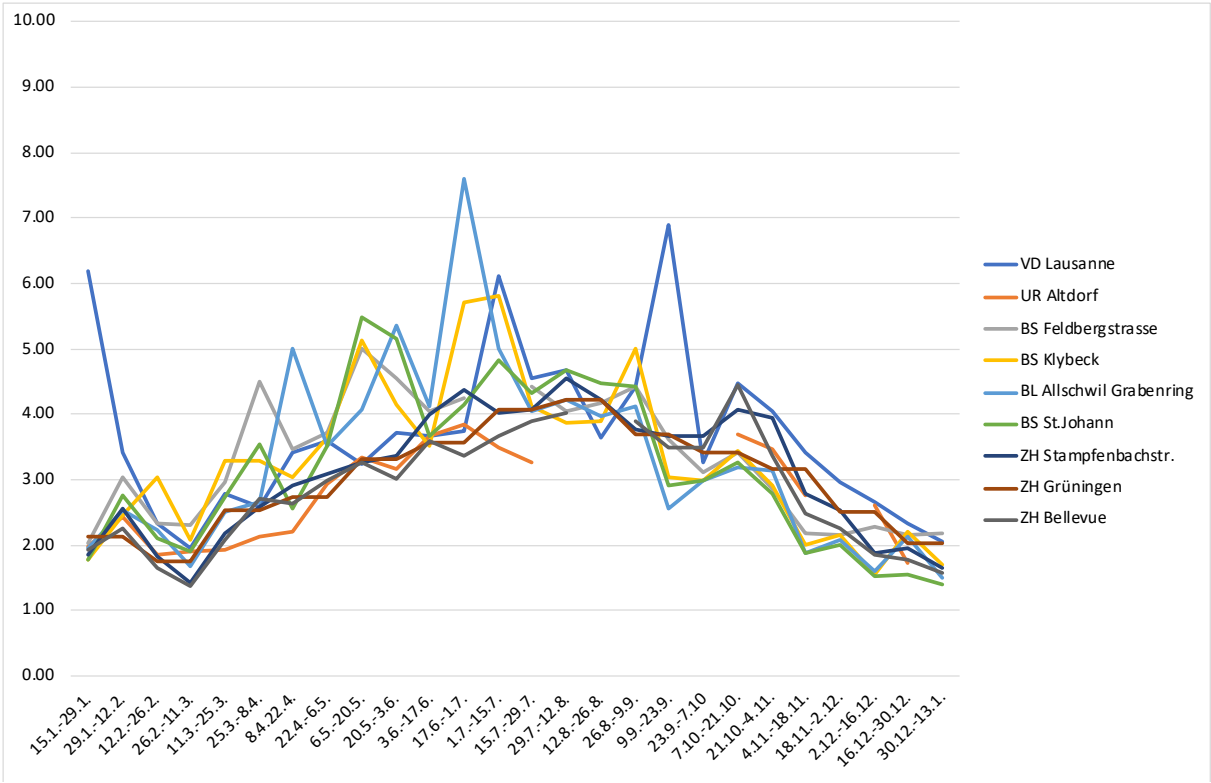


Abbildung 25 Jahresgang Toluol / Benzol - Verhältnis

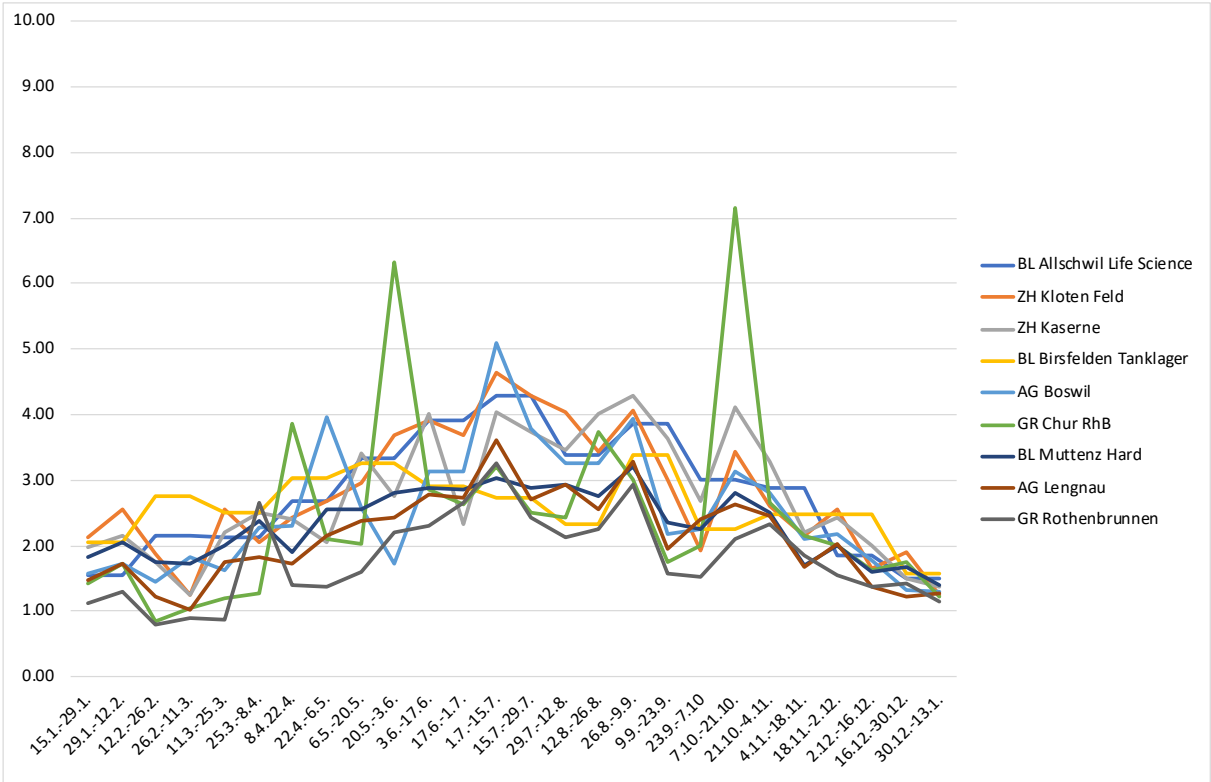


Abbildung 26 Jahresgang Toluol / Benzol - Verhältnis

4 Vergleich mit früheren Messkampagnen

Von den Kampagnen 1991, 1996, 2001, 2009, 2014 und 2019 liegen die Resultate vergleichbarer einjähriger Messungen für Basel Feldbergstrasse, Allschwil Grabenring, Altdorf und Chur RhB vor. Dadurch lässt sich die Entwicklung der VOC-Immissionen in den vergangenen 33 Jahren verfolgen. Ab 1996 kommt Basel St. Johann dazu, ab 2001 Zürich Bellevue und Stampfenbachstrasse, ab 2009 Basel Klybeck, Bern Wankdorf, Muttenz A2, Rothenbrunnen, St. Gallen Blumenbergplatz und Zürich Kaserne, ab 2014 Kreuzlingen sowie im 2019 Kloten Feld.
In Tabelle 9 sind alle ermittelten Jahresmittelwerte der ∑ausgewählter VOC zusammengestellt. Wie in den früheren Messkampagnen wurde diese Summe aus den Werten für Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o/m/p-Xylol, Mesitylen, Pseudocumol, n-Heptan und Isooctan gebildet.

Tabelle 9 Jahresmittelwerte ∑ausgewählter VOC [$\mu g/m^3$] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

	1991	1996	2001	2009	2014	2019	2024
BS Feldbergstrasse	100.1	74.7	63.1	31.9	19.2	13.9	7.5
UR Altdorf	79.7	52.2	45.4	24.5	13.9	12.9	5.5
ZH Bellevue			44.3	21.6	13.6	9.6	6.0
SG Blumenbergplatz				16.5	10.1	8.3	5.3
BE Wankdorf				13.7	8.6	7.8	4.1
ZH Stampfenbachstrasse			28.4	15.2	10.6	8.7	4.3
BS Klybeck				13.3	10.5	7.6	5.3
TG Kreuzlingen					10.0	10.1	8.8
BL Allschwil Grabenring	36.9	18.5	15.7	11.1	7.6	4.8	4.1
ZH Kaserne				9.9	7.4	9.0	3.4
ZH Kloten						8.9	3.2
BS St.Johann		24.3	20.5	10.7	7.4	5.2	4.2
BL Muttenz Hard				8.0	5.9	4.1	4.5
GR Chur RhB	26.5	14.0	10.8	7.1	3.7	4.3	2.2
GR Rothenbrunnen				5.1	3.9	4.7	2.2

An den vier Standorten, die bei allen sieben Messkampagnen beprobt worden sind, kann ein Rückgang der Immissionskonzentrationen um 89 bis 93% festgestellt werden. In Abbildung 27 lässt sich erkennen, dass auch an den anderen Standorten die Konzentrationen im Verlauf der Jahre abgenommen haben.
Durchschnittlich sind die Immissionen auch von 2019 auf 2024 nochmals um rund 41 % gesunken, in Kloten und Kaserne gar um über 60 % (siehe Abbildung 28). Geringer ist der Rückgang in Basel am St.Johannsplatz mit 19 %, in Allschwil Grabenring mit 15 % und in Kreuzlingen mit knapp 13 %. In Muttenz Hard haben die Konzentrationen der ausgewählten VOC im Jahresmittel um 10 % zugenommen. Allerdings musste dieser Probenahmestandort während fast dem ganzen Jahr vorübergehend verschoben werden, so dass die Werte nicht direkt vergleichbar sind.

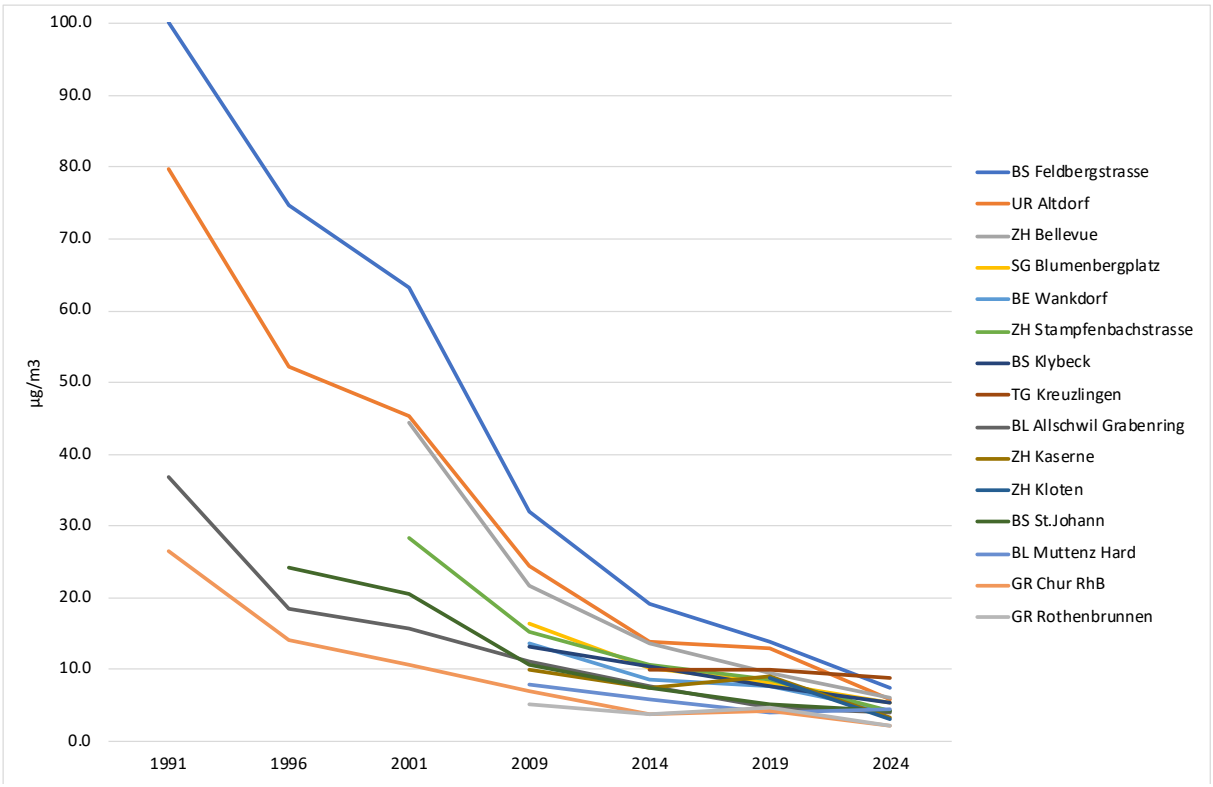


Abbildung 27 Jahresmittel [µg/m³] der ∑ausgewählter VOC 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

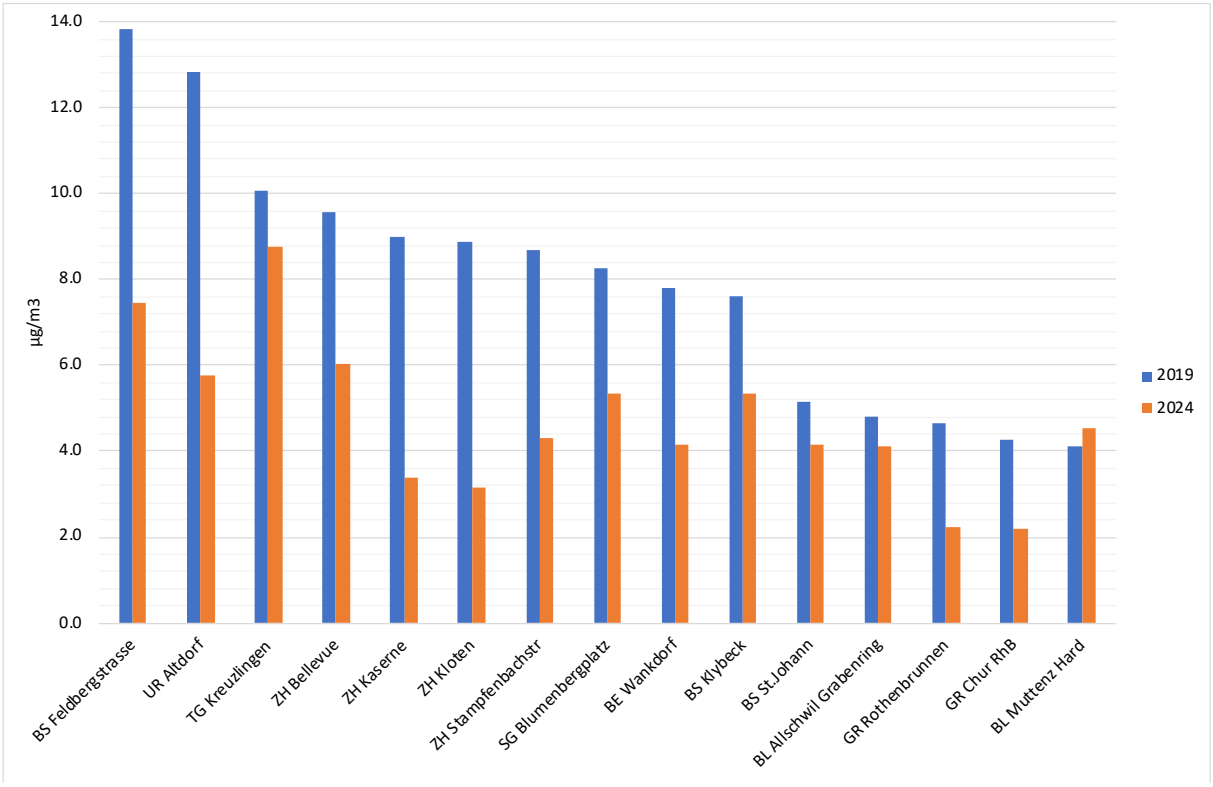


Abbildung 28 Jahresmittel [µg/m³] ∑ausgewählter VOC 2019 und 2024

In den Abbildungen 29 bis 32 ist die Entwicklung der Immissionskonzentrationen für Benzol, Toluol, n-Heptan und Isooctan dargestellt.

Am stärksten rückläufig haben sich die Benzol-Konzentrationen entwickelt. Allerdings zeigen die Basler Standorte Klybeck, St.Johann sowie Allschwil und Muttenz 2024 höhere Werte als fünf Jahre zuvor.

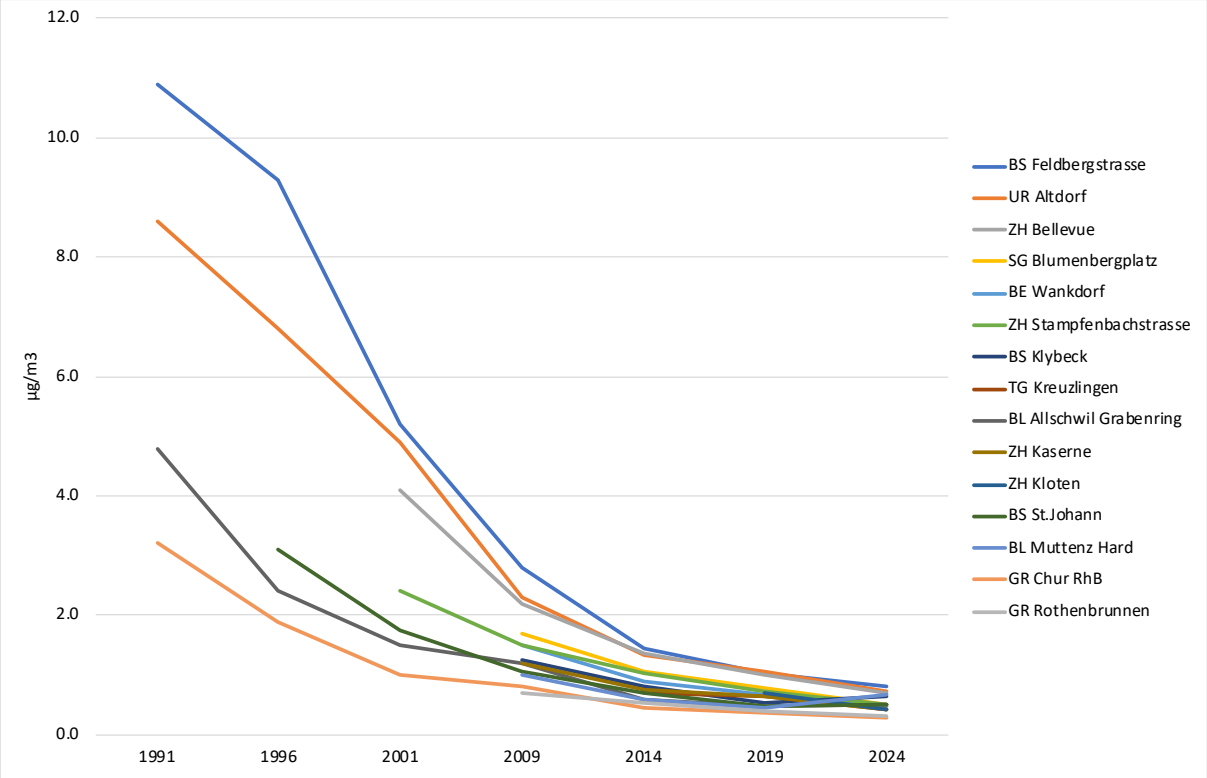


Abbildung 29 Benzol-Jahresmittel [µg/m³] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

Sehr ähnlich wie die ∑ausgewählter VOC haben sich die Toluol-Immissionen entwickelt. Wenig erstaunlich, da Toluol an den meisten Standorten rund ein Drittel der betrachteten VOC ausmacht. Auffällig ist, dass in Kreuzlingen die Toluol-Konzentrationen beinahe konstant bleiben und mehr als 50 % zu den betrachteten Immissionen beitragen.

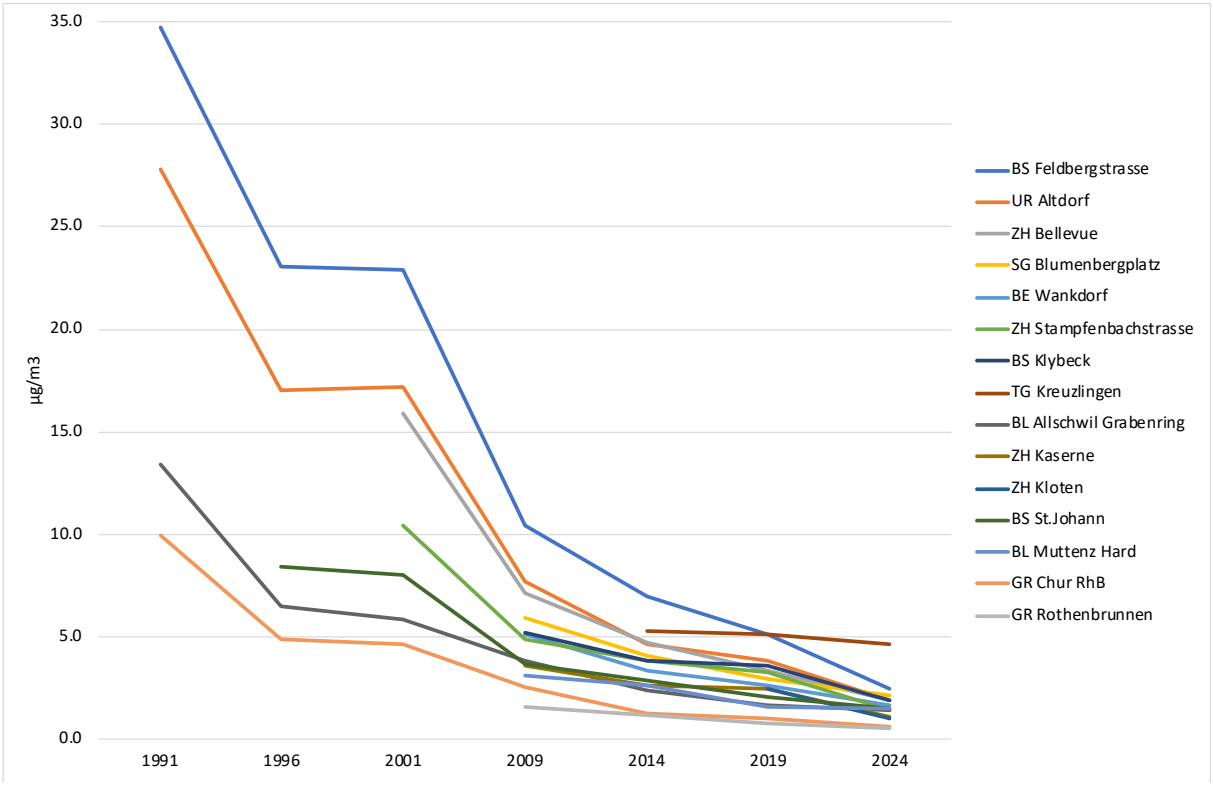


Abbildung 30 Toluol-Jahresmittel [µg/m³] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

Etwas weniger stark und unregelmässiger verläuft der Konzentrations-Rückgang beim n-Heptan. Die beiden Bündner Standorte wiesen im Jahr 2019 Kontaminationen auf. 2024 können an vier Standorten Konzentrationsanstiege gegenüber der letzten Messkampagne festgestellt werde.

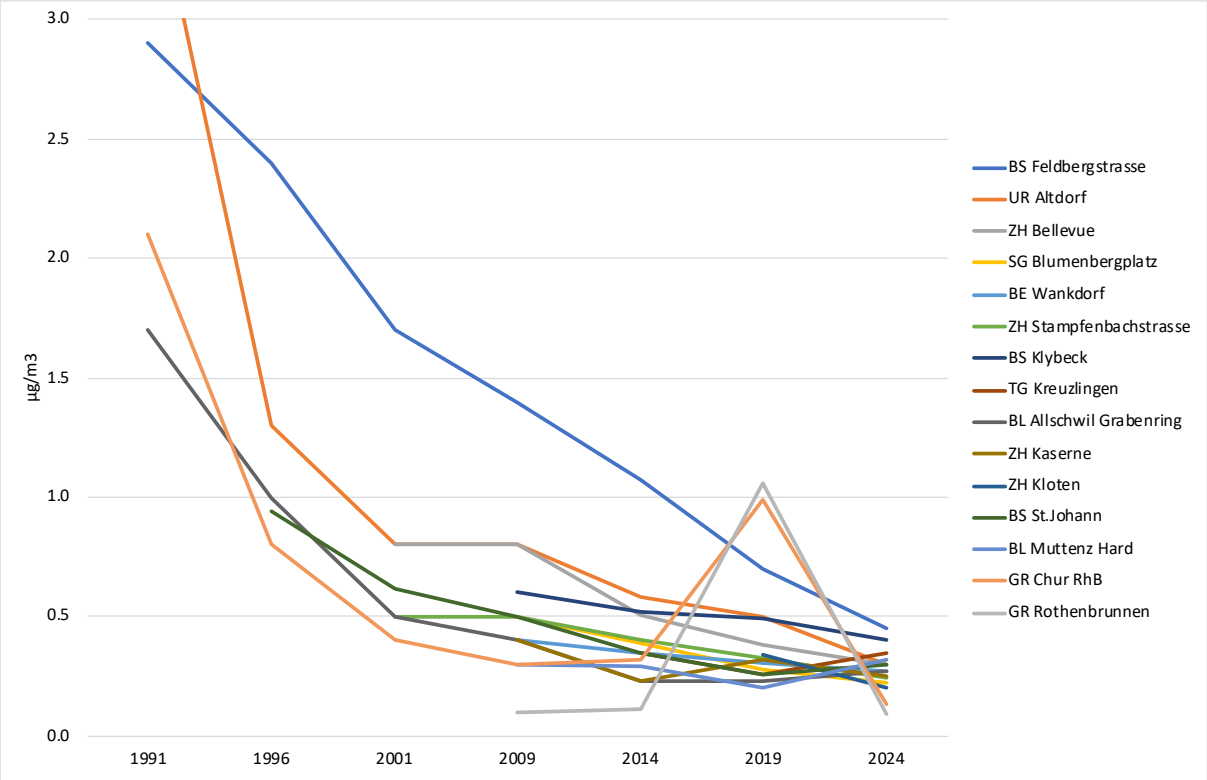


Abbildung 31 n-Heptan-Jahresmittel [$\mu g/m^3$] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

Isooctan zeigt an einzelnen Standorten einen unterdurchschnittlichen Rückgang. Von den vier seit Beginn der Kampagnen beprobten Standorten ist Isooctan in Basel Feldbergstrasse und Altdorf mit noch rund 10 % der ursprünglich gemessenen Werte im 1991 - vergleichbar mit den anderen VOC. In Allschwil ist der Wert auf knapp 22 % und in Chur nur auf 36 % des Ursprungswertes zurückgegangen. An fast allen Stationen schwanken die Werte von Kampagne zu Kampagne. Der 2019 festgestellte starke Anstieg der Isooctan-Werte an einzelnen Standorten war vermutlich auf schwankende Sammler-Blindwerte zurückzuführen.

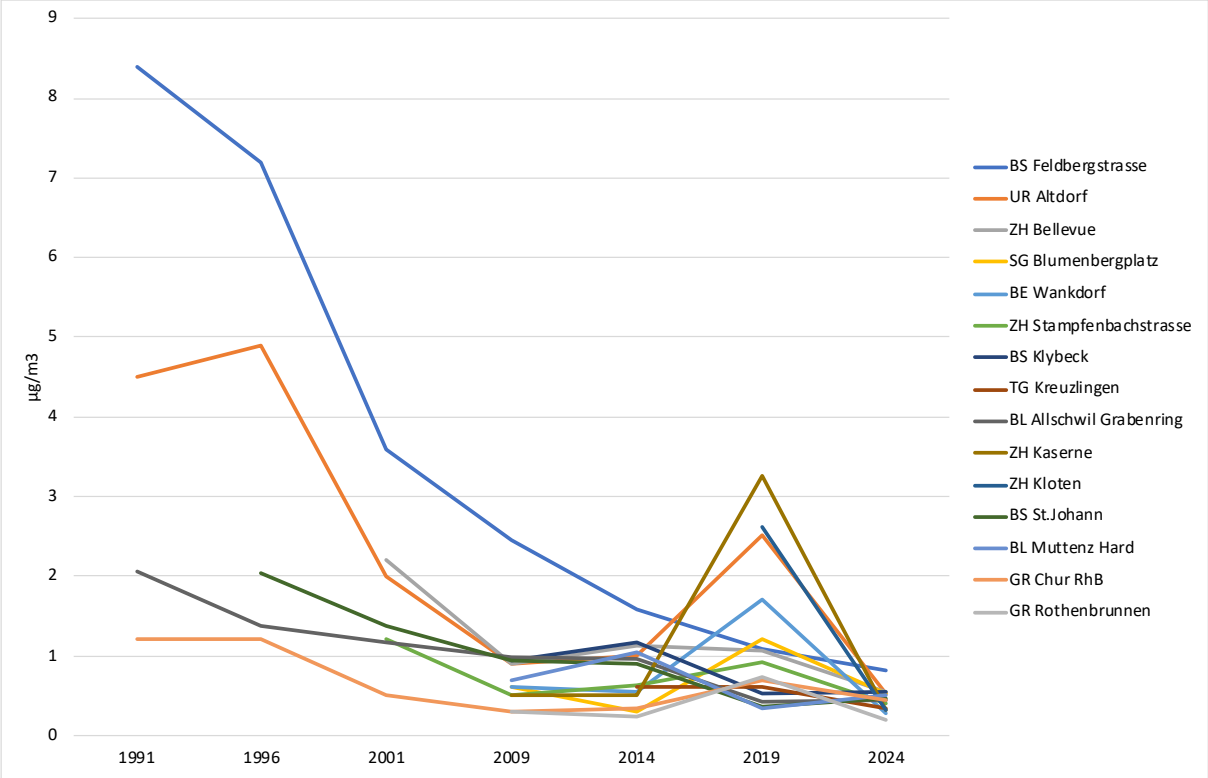


Abbildung 32 Isooctan-Jahresmittel [µg/m³] 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024

In Basel werden an der Feldbergstrasse seit 1996 jedes Jahr VOC-Messungen in gleicher Art wie in den hier beschriebenen Kampagnen durchgeführt. Damit lässt sich überprüfen, ob die in den einzelnen Messkampagnen 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024 erzielten Resultate auf Grund meteorologischer Einflüsse - die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden - Extremwerte sind.
Abbildung 33 zeigt die ∑VOC (sämtliche analysierten Substanzen) an der Feldbergstrasse in Basel. Die Ergebnisse der Jahre, in welchen eine schweizweite Messkampagne erfolgt ist, sind rot eingefärbt. 2023 und 2024 musste der Standort wegen Bauarbeiten vorübergehend verschoben werden. Der temporäre Standort kam näher beim Rhein zu liegen und war besser durchlüftet. Entsprechend war mit tieferen Immissionen zu rechnen. In Abbildung 33 sind deshalb zusätzlich die Jahresmittelwerte der Basler Station St.Johannsplatz abgebildet. Diese zeigen, dass die tieferen Konzentrationen am Standort Feldbergstrasse eher durch die Verschiebung und nicht auf Grund meteorologischer Einflüsse zustande kamen.
Es zeigt sich, dass die Resultate 1996 leicht unter und 2001 leicht über den Erwartungen liegen. 2009, 2014, 2019 und vermutlich auch 2024 weichen kaum von den Erwartungen ab. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Kampagnenjahre zumindest in Basel im Jahresmittel nicht gross durch meteorologische Einflüsse verzerrt sind.

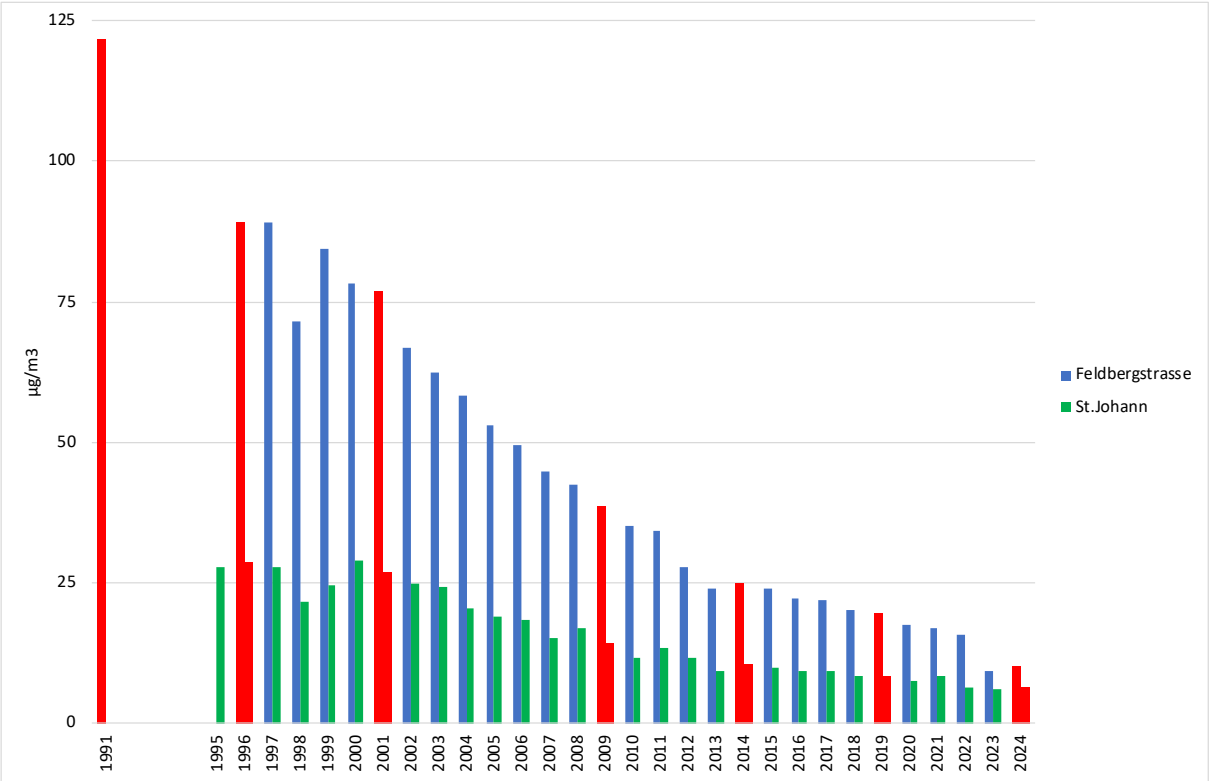


Abbildung 33 **∑VOC-Jahresmittel Feldbergstrasse Basel und St.Johannsplatz (rot = Jahr mit CH-Messkampagne)**

5 Entwicklung der VOC-Emissionen

Gemäss der Emissionsdatenbank des BAFU konnten die VOC-Emissionen des Verkehrs von 82'000 Tonnen im Jahr 1991 auf rund 8'000 Tonnen 2023 reduziert werden.
Wesentlich zu dieser Entwicklung beigetragen hat die Katalysator-Technik, die Reduktion der Verdampfungsverluste, die Verschärfung der Emissionsgrenzwerte, die Reduktion des Treibstoffverbrauchs nach dem CO_2-Gesetz und die langsame Zunahme von Elektrofahrzeugen. Zudem sind die geleisteten Personenkilometer im motorisierten Verkehr nach einem kontinuierlichen Anstieg bis 2019 Covid 19-bedingt 2020 um gut 22% zurückgegangen und liegen auch 2024 noch 9% tiefer als 2019.

Im Bereich Industrie und Gewerbe ist im gleichen Zeitraum durch den konsequenten Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung eine Reduktion von 155'000 auf knapp 34'000 Tonnen feststellbar. Einen wichtigen Beitrag leisteten auch kantonale Massnahmenpläne sowie die im Jahr 2000 in Kraft getretene VOC-Verordnung. Viele Grossemittenten haben zur Minderung der VOC-Emissionen Abluftreinigungsanlagen in Betrieb gesetzt. Diesen Betrieben wurde unter gewissen Bedingungen eine Befreiung von der VOC-Lenkungsabgabe gewährt. Mit der Änderung der VOC-Verordnung 2013 wurden diese Bedingungen verschärft, in dem die Betriebe neu die beste verfügbare Technik einsetzen müssen, um auch in Zukunft von der Abgabe befreit zu bleiben.

Abbildung 34 zeigt die Entwicklung der NMVOC-Emissionen in der Schweiz seit 1991 gemäss der Emissionsdatenbank des BAFU. Den stärksten Rückgang bis 2023 zeigen die Verkehrsemissionen (-90%) und die der Lenkungsabgabe unterstellten VOC (LUVOC) aus Industrie und Gewerbe (-78%). Ebenso deutlich rückläufig sind die übrigen (d.h. nicht der Lenkungsabgabe unterstellten) VOC-Emissionen aus Industrie und Gewerbe (-78%) sowie aus Haushalten (-75%). Unverändert sind die Emissionen aus der Land- und Forstwirtschaft (+2%), während die LUVOC-Emissionen aus Haushalten im Jahr 2023 rund 40% tiefer liegen als 1991. LRV und VOCV entfalten bei den Haushalts-Emissionen deutlich weniger Wirkung als in Industrie und Gewerbe. Hier empfiehlt es sich, neue Wege zur Emissionsminderung – eventuell unter Einbezug des Detailhandels und der Baumärkte – zu evaluieren.
Insgesamt konnten die NMVOC-Emissionen in den letzten 32 Jahren um 74% von 280'500 auf 71'700 Tonnen reduziert werden. Der Anteil von Industrie und Gewerbe an den gesamten NMVOC-Emissionen sank von 55% im Jahr 1991 auf 47% im Jahr 2023, jener des Verkehrs von 29 auf 9%. Dagegen erhöhte sich der Beitrag der Land- und Forstwirtschaft von 9 auf 27.5% und jener der Haushalte von 7 auf 14.5%.

In Abbildung 35 werden die Ergebnisse der Immissionsmessungen (Summe ausgewählter VOC, siehe Kapitel 4) jener vier Standorte, an welchen 1991, 1996, 2001, 2009, 2014, 2019 und 2024 einjährige Messkampagnen durchgeführt worden sind, mit den Emissionsberechnungen des BAFU verglichen.

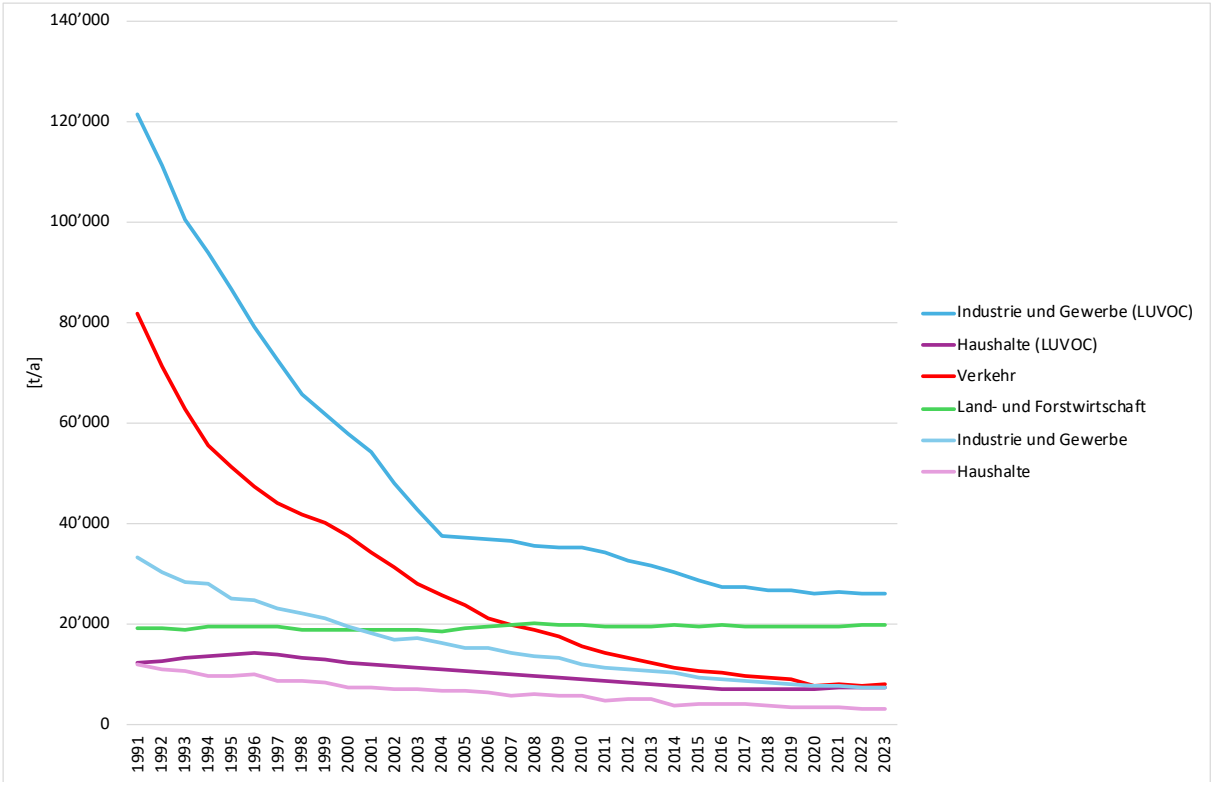


Abbildung 34 VOC-Emissionen [t/a] Schweiz gemäss BAFU

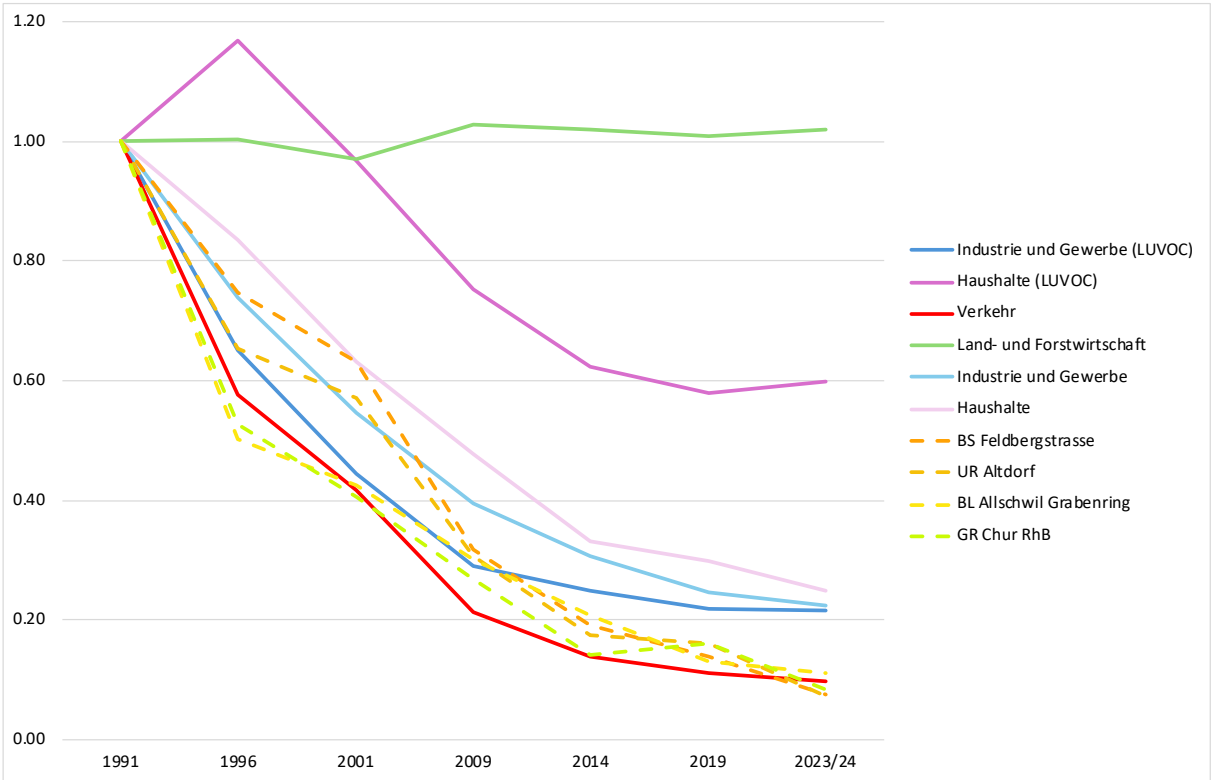


Abbildung 35 Vergleich der VOC-Immissionen mit den NMVOC-Emissionen gemäss BAFU (Werte 1991 normiert auf 1)

Die Immissionsmessresultate an den vier Standorten Allschwil, Altdorf, Basel Feldbergstrasse und Chur RhB bestätigen den bei den Emissionen festgestellten deutlichen Rückgang der NMVOC-Werte seit 1991. Die Immissionskonzentrationen sind um 89 bis 93 % zurückgegangen, die Emissionen aus dem Verkehr um 90 %, jene aus Industrie und Gewerbe um 78 %.
Obwohl nur ein Teil der Vielzahl organischer Verbindungen analytisch erfasst wurde und meteorologische Einflüsse sowie allfällige Veränderungen in der direkten Umgebung der Messstandorte unberücksichtigt bleiben mussten, zeigen Immissionen und Emissionen über einen längeren Zeitraum betrachtet die gleiche Tendenz. Auf Grund der Wahl dieser vier Standorte und des erfassten Stoffspektrums werden die Immissions-Messresultate hauptsächlich von den Strassenverkehrs-Emissionen beeinflusst.

Interessant ist der starke Rückgang der Immissionen in den letzten zehn Jahren. An 14 Standorten wurden sowohl 2014 wie 2024 VOC-Messkampagnen durchgeführt. 11 Standorte zeigen 2024 Immissionswerte, die zwischen 41 und 59 % tiefer liegen als 2014. Die Verkehrsemissionen sind in den letzten zehn Jahren (2013 bis 2023) dagegen «nur» um 34 % zurück gegangen.
Die Messstationen an der Feldbergstrasse in Basel und in der Muttenzer Hard wurden 2024 verschoben, so dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist.
Mit 12 % sehr viel geringer ist der Immissionsrückgang in Kreuzlingen. Dieser Standort wird wesentlich von einem Grossemittenten geprägt, der die grösste Emissionsminderung schon zu einem früheren Zeitpunkt realisiert hat.

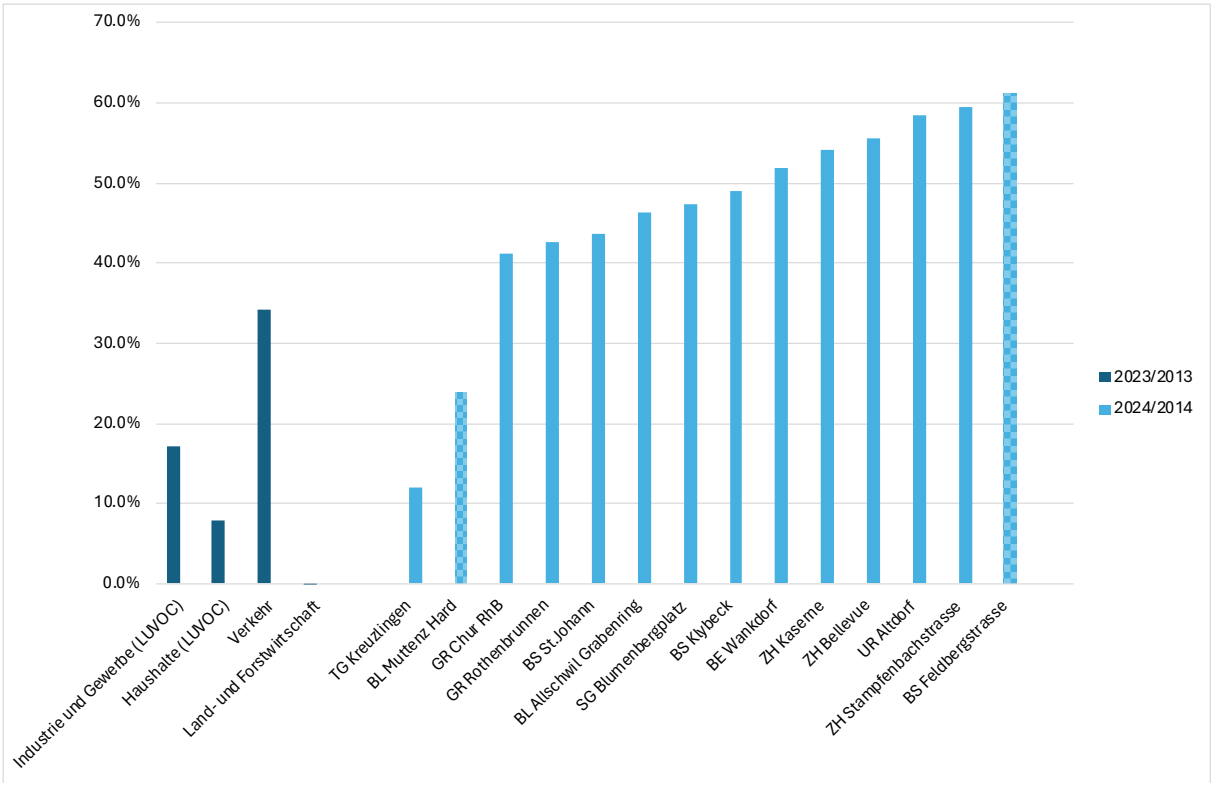


Abbildung 36 Rückgang der Emissionen (2013 bis 2023) und der Immissionen (2014 bis 2024)

6 Vergleich mit weiteren VOC-Messungen in der Schweiz

NABEL

An fünf NABEL-Stationen ermitteln die EMPA und das BAFU kontinuierlich VOC-Immissionskonzentrationen mittels aktiver Probenahme und FID- oder PID-Detektoren.

Abkürzung	Standort	Standorttyp	Aromatische Verbindungen	Gesättige KW	Ungesättigte KW	Polare VOC
ZUE	Zürich Kaserne	städtisch	BTEX (seit 2001 – 2017 und 2023 - heute)	C2-C7	a-Pinen, Limonen	MeOH, EtOH, Propanol, MTBE Acetonitril, Aceton, Ethylacetat
BER	Bern Bollwerk	städtisch verkehrsbelastet	BTEX (seit 2011)	-	-	-
BRM	Beromünster	ländlich unterhalb 1000m.ü.M.	BTEX (seit 2018)	C2-C7	Ethen, Ethin Propen 1,3-Butadien Isopren a-Pinen, Limonen	MeOH, EtOH, Propanol, MTBE, Acetonitril, Ethanal/Acetaldehyd, Aceton Ethylacetat, Methylethylketon
DUE	Dübendorf EMPA	vorstädtisch	BTEX (seit 1994 - 2010) BT (seit 1994)	-	-	-
JUN	Jungfraujoch	Hochgebirge	BT (seit 2000)	C4, C5	-	-

Für die nachfolgende Auswertung wurden BTEX-Jahresmittelwerte berücksichtigt.

Die Immissionskonzentrationen sind am Standort Zürich Kaserne seit 2001 um durchschnittlich 71 % (Benzol) bis 85 % (Toluol) zurückgegangen. In den letzten zehn Jahren sind die Werte deutlich gesunken, für Ethylbenzol, die Xylole und Toluol um rund 55 % und für Benzol um rund 25 %.

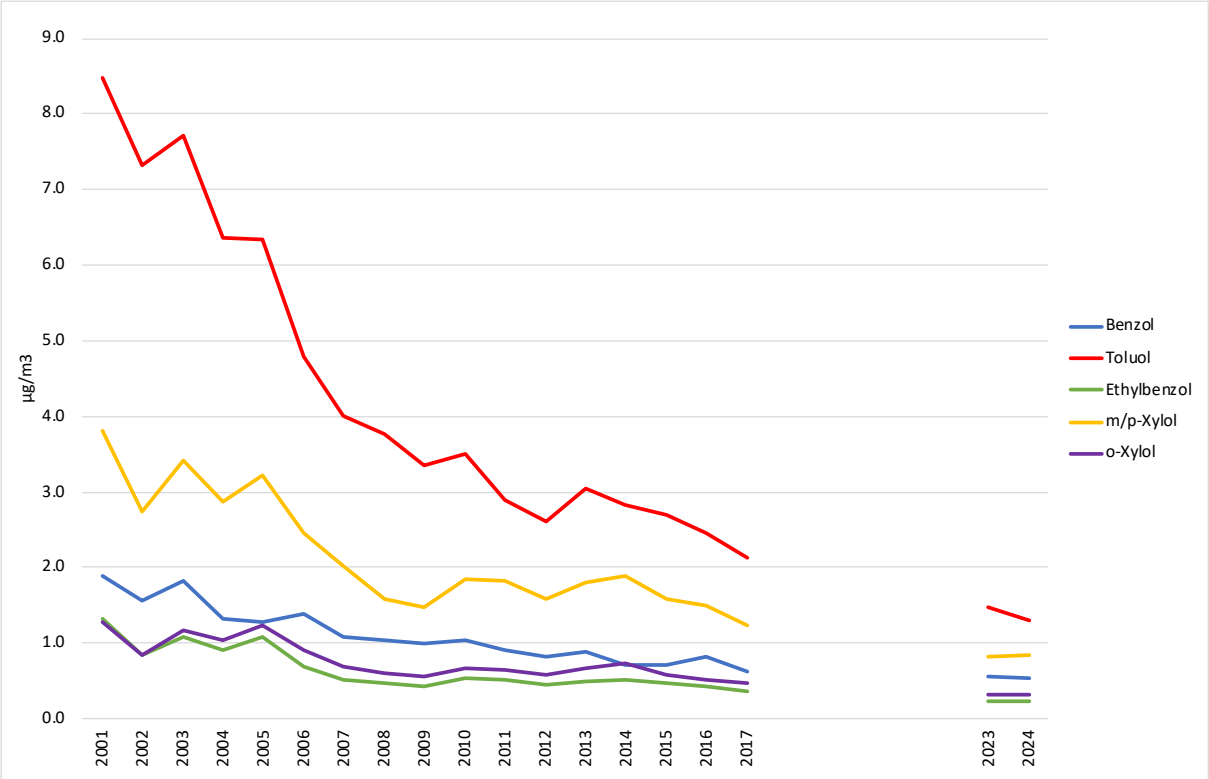


Abbildung 37 Jahresmittel aromatischer VOC [$\mu g/m^3$] in Zürich 2001 bis 2024 (NABEL-Standort Kaserne)

Bereits seit 1994 werden BTEX-Messungen in Dübendorf durchgeführt. Bis 2010 wurden Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole erfasst, seit 2011 nur noch Benzol und Toluol
Seit Messbeginn im 1994 sind die Benzol- und Toluol-Werte um rund 88 % zurückgegangen (siehe Abbildung 38). In den letzten zehn Jahren sind die Benzol-Werte um 30 %, die Toluol-Werte um 47 % gesunken.

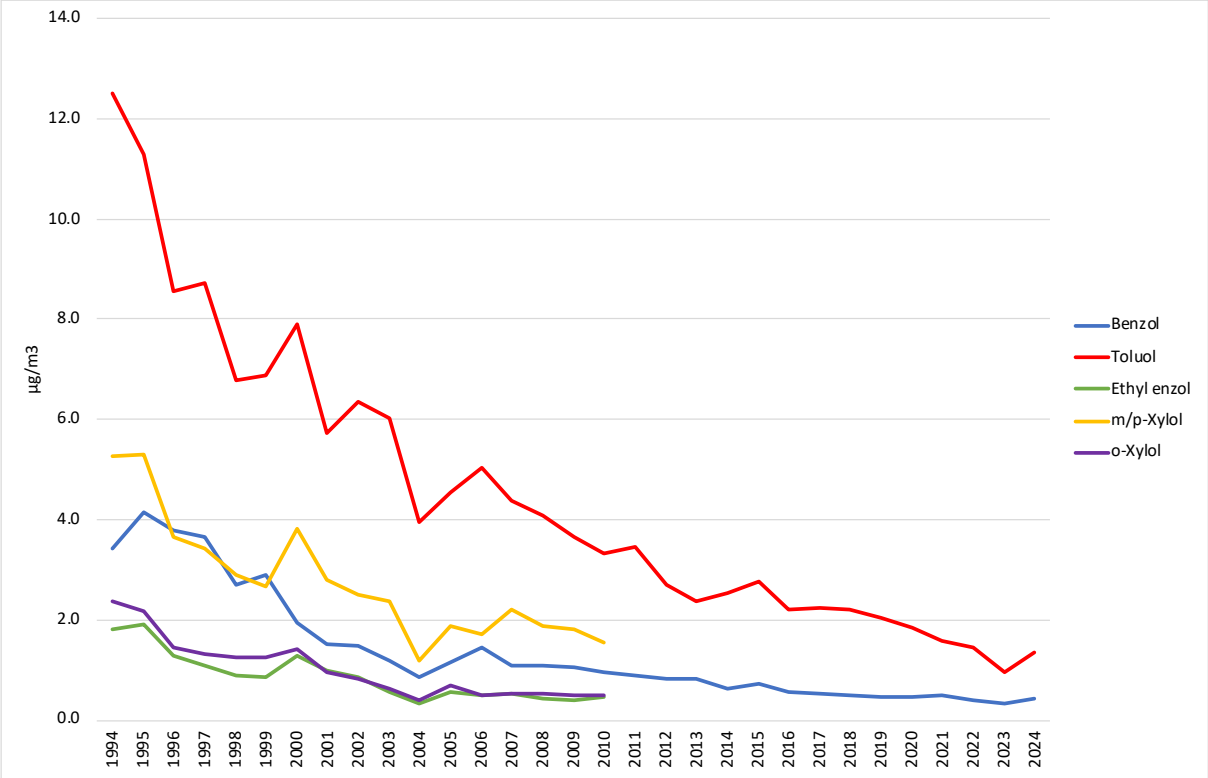


Abbildung 38 **Jahresmittel Benzol und Toluol [µg/m³] in Dübendorf 1994 bis 2024 (Ethylbenzol, Xylole bis 2010)**

Am städtisch geprägten Standort Bern-Bollwerk mit sehr hohem Verkehrsaufkommen werden seit 2011 BTEX-Messungen durchgeführt. In den letzten zehn Jahren sind die Immissionen deutlich rückläufig:

Benzol -57 %, Toluol -59 %, m/p-Xylol -62 %, Ethylbenzol -63 % und o-Xylol -72 % (siehe Abbildung 39).

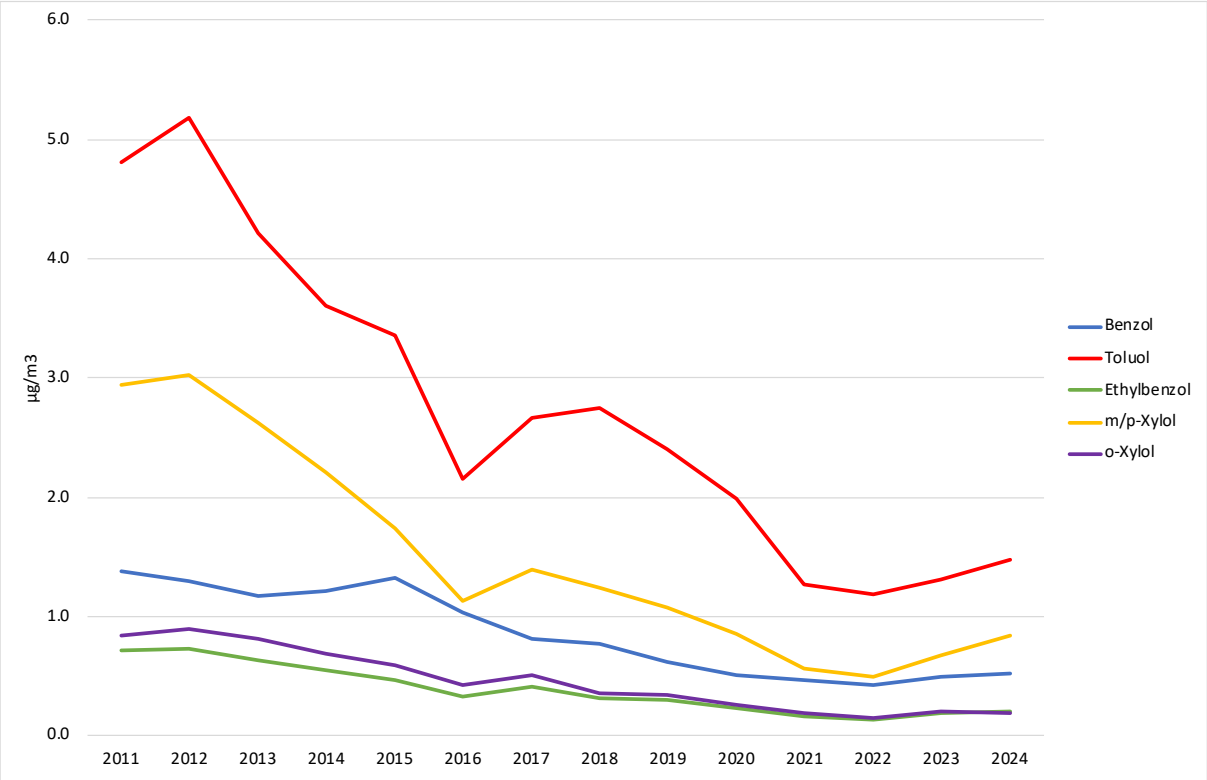


Abbildung 39 Jahresmittel aromatischer VOC [µg/m³] in Bern Bollwerk 2011 bis 2024 (NABEL)

Am in landwirtschaftlicher Umgebung liegenden Standort Bermomünster werden seit 2018 BTEX erfasst. Auf Grund der Quellferne werden tiefere Konzentrationen festgestellt, der Anteil des Toluols und insbesondere des Benzols an den Aromaten-Immissionen ist höher als an städtischen Standorten (siehe Abbildung 40).

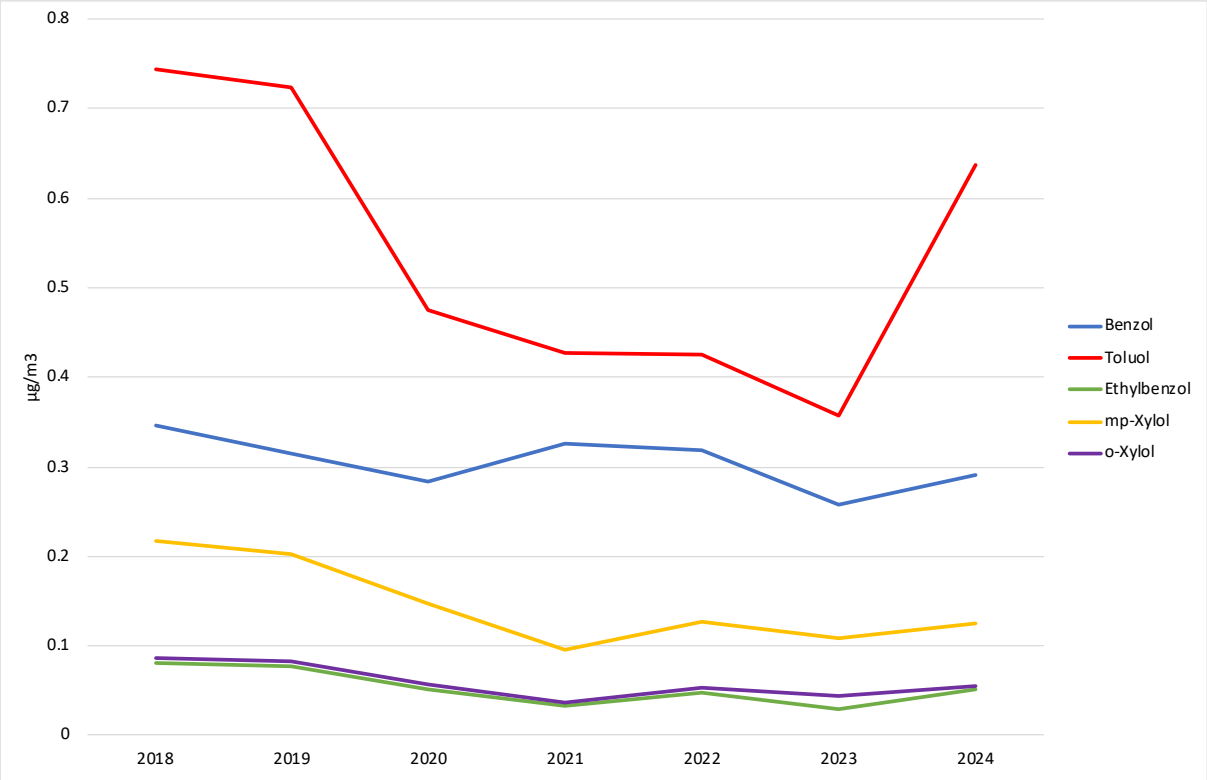


Abbildung 40 Jahresmittel aromatischer VOC [µg/m³] in Beromünster 2018 bis 2024 (NABEL)

Auf dem quellfernen Jungfraujoch (Abbildung 41) übersteigt seit 2015 die Benzol-Konzentration jene des Toluols deutlich. Die von Jahr zu Jahr schwankenden Benzol-Immissionen lassen seit 2000 keinen Rückgang erkennen. Für Toluol darf – bei starken Schwankungen – ein Rückgang vermutet werden.

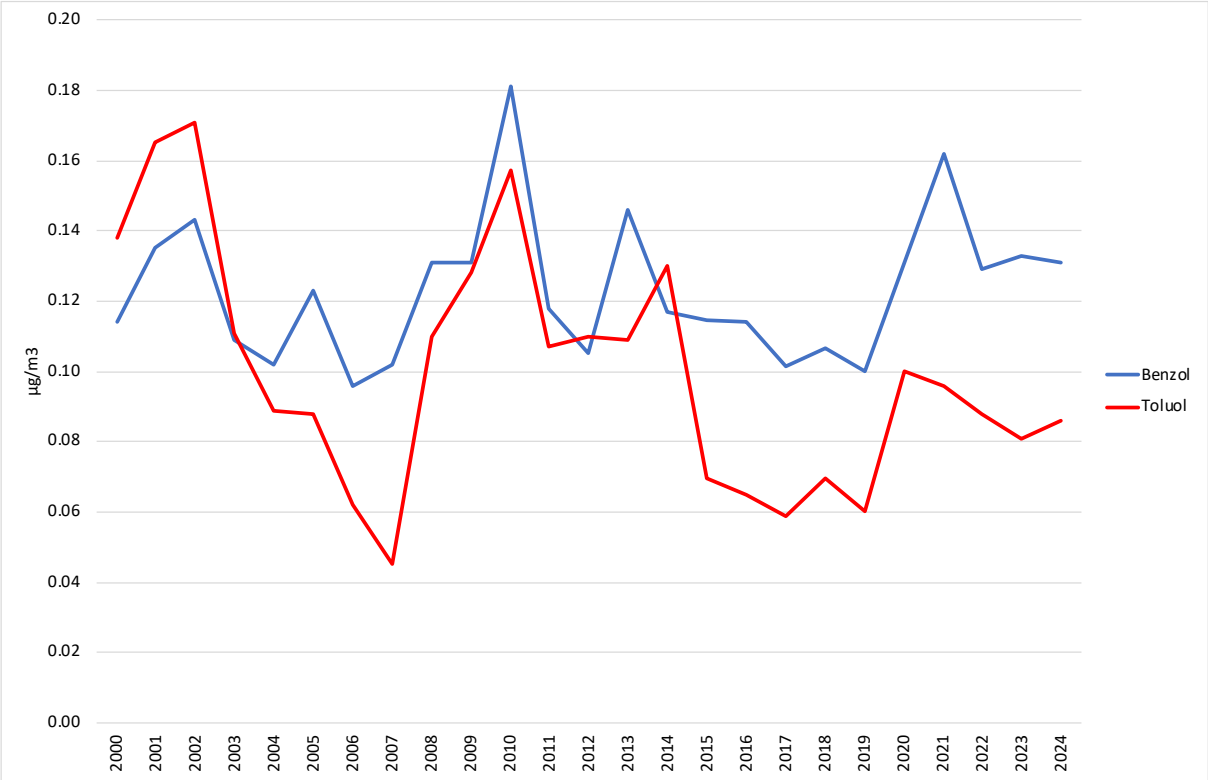


Abbildung 41 Jahresmittel Benzol und Toluol [µg/m³] auf dem Jungfraujoch 2000 bis 2024 (NABEL)

Sehr schön zu erkennen ist in diesen Messungen, dass die Immissionskonzentrationen mit zunehmender Distanz zu den Quellen logischerweise abnehmen, der relative Anteil des Benzols jedoch zunimmt. Im quellfremden Jungfraujoch liegt das Toluol/Benzol-Verhältnis deutlich unter 1.

Kantone

Im Kanton Wallis werden seit 2008 BTEX-Messungen, ähnlich den NABEL-Messungen mittels GC/FID/PID, in Massongex, Sion und Brigerbad sowie mit einer mobilen Messstation durchgeführt. Der Rückgang der Immissionen ist mit den NABEL-Ergebnissen vergleichbar. Interessant ist ein Vergleich der Resultate dieser automatischen Messstationen mit den parallel durchgeführten Passivsammler-Bestimmungen mit GC/MS-Analytik in Massongex, Brigerbad und Baltschieder (Mobile 1).

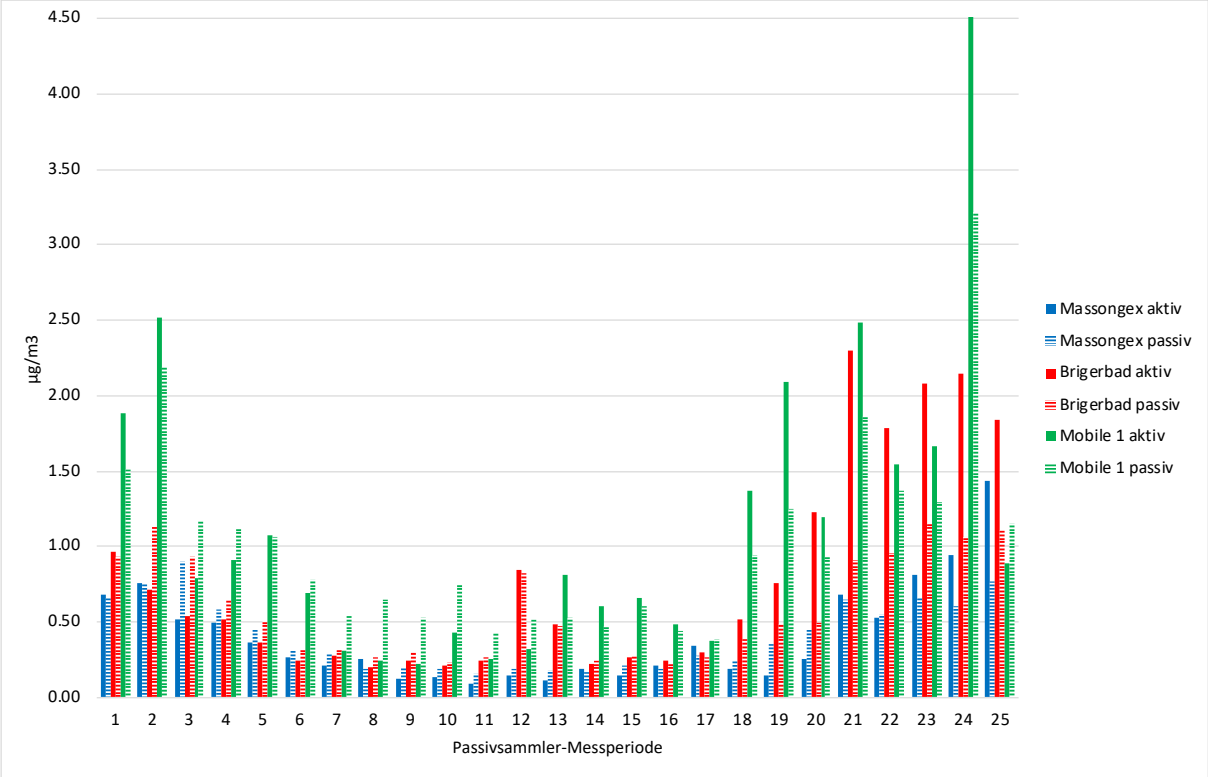


Abbildung 42 Vergleich aktiver und passiver Probenahme von Benzol im Wallis

Im Jahresmittel ergeben aktive Halbstunden-Mittelwerte und passive Vierzehntage-Mittelwerte vergleichbare Werte. In Massongex liegt das mit Passivsammlern und GC/MS analysierte Benzol-Jahresmittel 1 % höher als das mit GC/FID automatisch bestimmte, in Brigerbad 24 % tiefer und in Baltschieder (Mobile 1) 9 % tiefer. Für einzelne Messperioden ergeben sich jedoch ganz massive Abweichungen (siehe Abbildung 42). Für Toluol ergibt die GC/MS-Bestimmung je nach Standort 1 bis 17 % tiefere Jahresmittel, für Ethylbenzol 24 bis 49 % tiefere Jahresmittel.
Mit aktiver Probenahme stellte der Kanton Wallis massiv höhere Werte der halogenierten Kohlenwasserstoffe fest. Perchlorethylen wurde um Faktor 100 höher bestimmt als mit den Passivsammlern.

Im Kanton Genf wurde von Mitte 2023 bis Mitte 2024 eine einjährige Messkampagne mit Passivsammlern und GC/MS-Analyse in Genthod durchgeführt. Die Ergebnisse entsprechen im Vergleich mit den in diesem Bericht vorgestellten Resultaten einem städtischen Vorort.

An vier in diesem Bericht beschriebenen Standorten werden jedes Jahr und nicht nur bei den Schweiz-weiten Messkampagnen VOC-Messungen durchgeführt. In Basel am St.Johannsplatz seit 1995, an der Feldbergstrasse seit 1996, in Muttenz an der A2 seit 2003 und in Rothenbrunnen Graubünden seit 2009. Die Messungen erfolgten gleich wie in den Kampagnen mit 14-Tagen exponierten Passivsammlern und GC/MS-Analytik. In der folgenden Abbildung 43 wird die Entwicklung der BTEX-Werte (Summe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole) an diesen vier Standorten dargestellt.

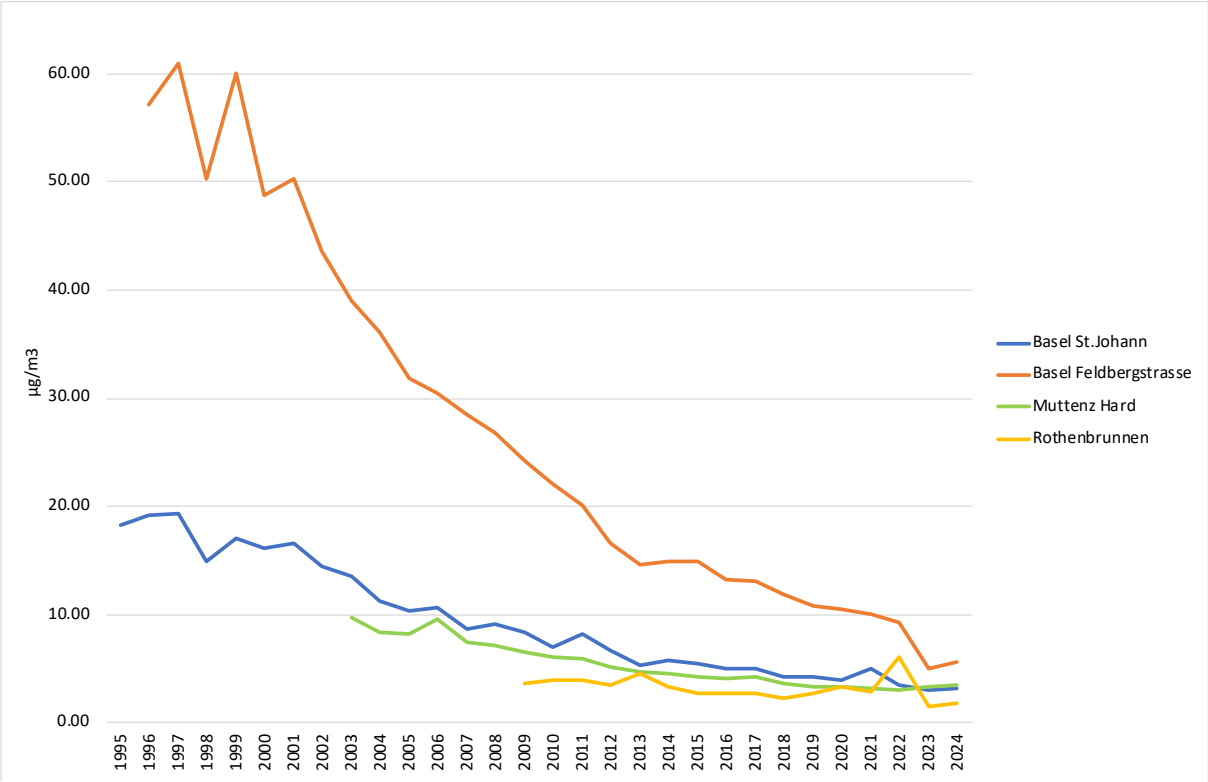


Abbildung 43 BTEX-Werte an vier jährlich beprobten Standorten

7 Interpretation der Standortdaten

In Anhang 1 sind die 26 Standorte genauer beschrieben und die Analyseergebnisse pro Standort interpretiert. An dieser Stelle werden einzelne auffällige Befunde erwähnt.

Toluol bei Industrienähe und Strassenbelagsarbeiten

In Abbildung 44 ist der Jahresverlauf der Toluolimmissionen an den fünf belastetsten Standorten dargestellt. In Birsfelden, Kreuzlingen, Baltschieder Mobile 1 und an der Feldbergstrasse in Basel sind die Messwerte mit Schwankungen das ganze Jahr hoch. In Rorschach dagegen führt ein Spitzenwert von 90.9 μg/m^3 Ende Juni zu einem höheren Jahresmittel. In unmittelbarer Umgebung des Standortes wurden zu diesem Zeitpunkt Teerarbeiten ausgeführt.

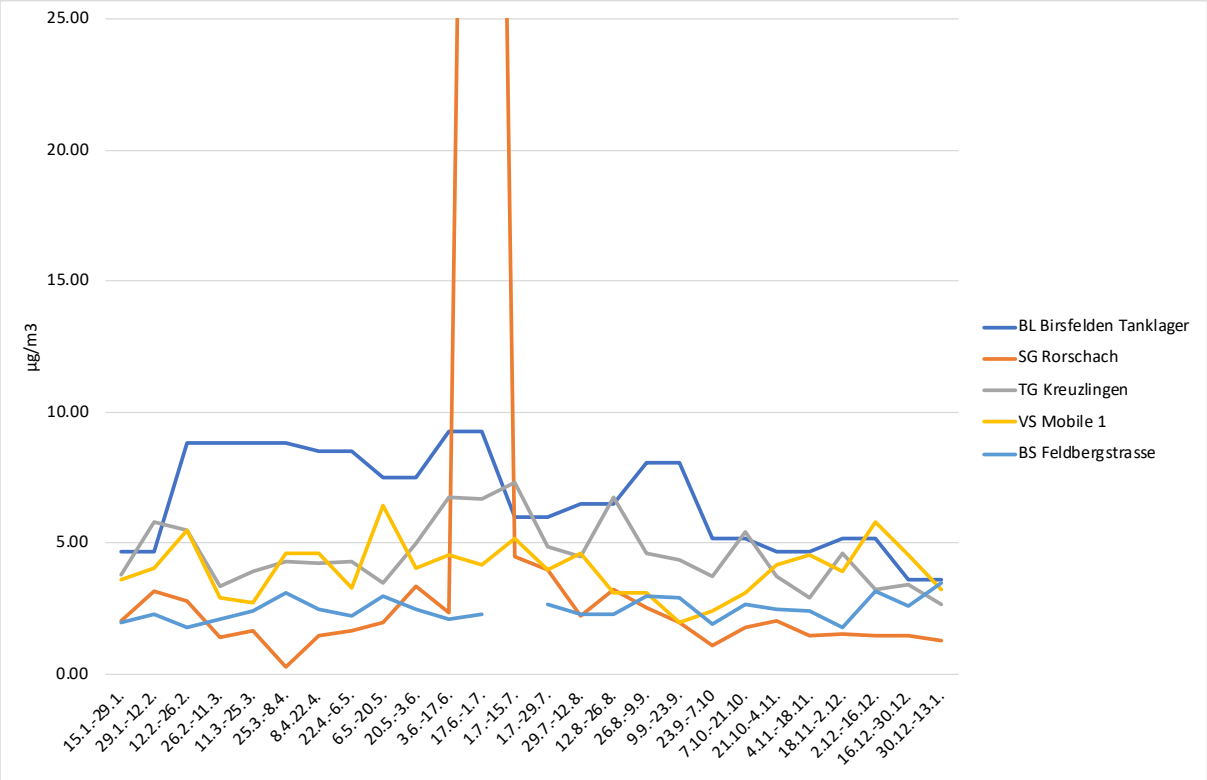


Abbildung 44 Jahresverlauf Toluol-Konzentration [μg/m^3] der fünf belastetsten Standorte

BL Birsfelden Tanklager, Benzol und Toluol

Die höchsten Jahresmittel für Benzol und Toluol werden in Birsfelden gemessen. Auch für die Alkane ergeben sich Spitzenwerte. Benzol und Toluol sind gegenüber den anderen Aromaten deutlich erhöht. In der Nähe der Messstelle befinden sich Benzol- und Toluoltanklager mit Umschlag.

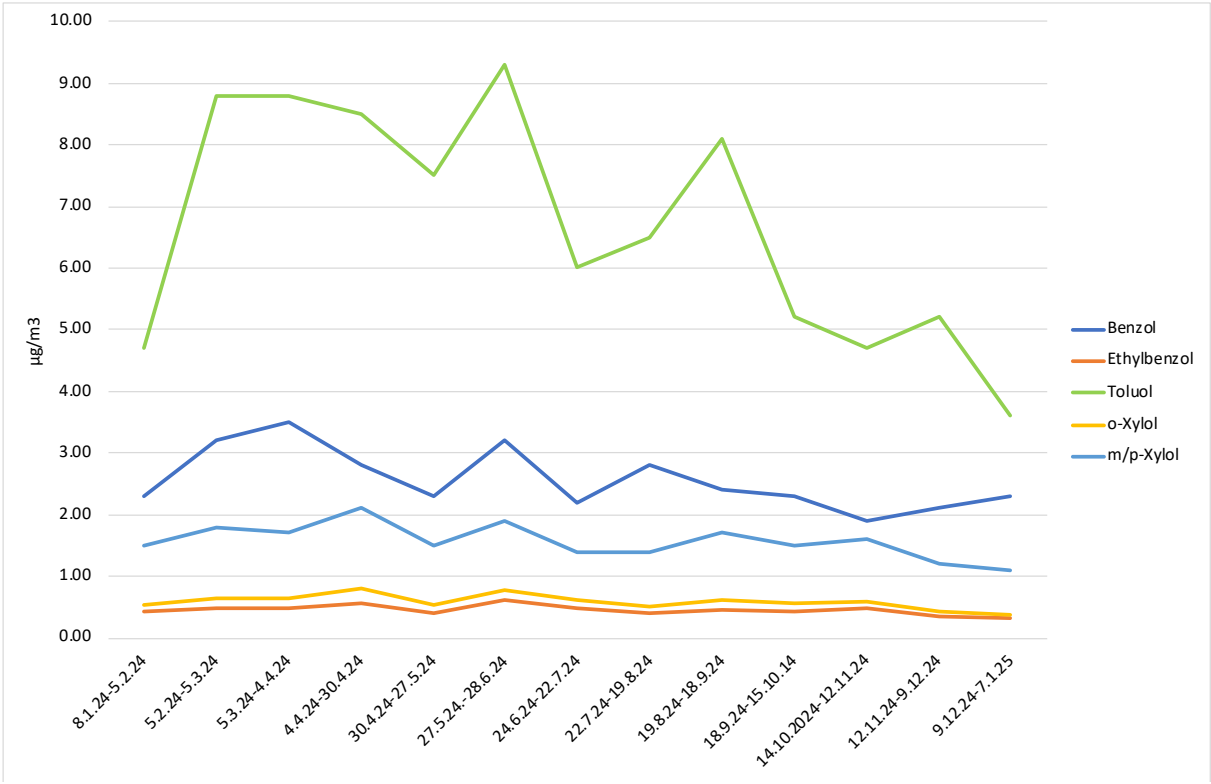


Abbildung 45 BTEX-Werte BL Birsfelden Tanklager

ZH Grüningen, Xylol

Die höchsten Xylol-Werte weist der Standort in Grüningen auf. Auch Ethylbenzol und alle höheren Aromaten zeigen an dieser Stelle Spitzenwerte. Die Messungen wurden in einem Gewerbegebiet durchgeführt. Abbildung 46 zeigt den Jahresgang der BTEX-Werte mit höheren Werten für m/p-Xylol als für Toluol. Auch o-Xylol und Ethylbenzol sind gegenüber Benzol erhöht. Über das Jahresende (Ferien) fallen die Xylol- und Ethylbenzolwerte ab.

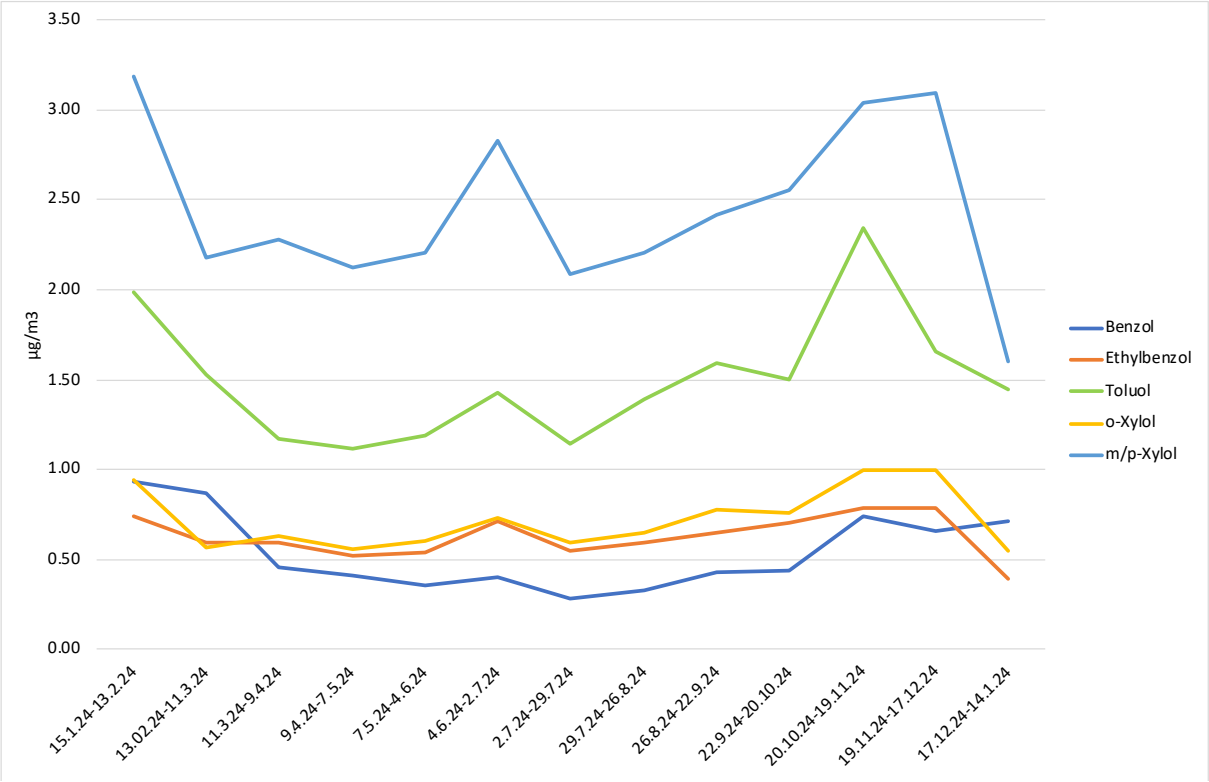


Abbildung 46 BTEX-Werte ZH Grüningen

AG Lengnau, Styrol

Styrol konnte nur an den Standorten Lengnau, Baltschieder (Mobile 1) und Grüningen nachgewiesen werden, die sich alle in Gewerbegebieten befinden. Die Messungen in Lengnau wurden in der Nähe eines Verarbeiters von Styrol-haltigen, ungesättigten Polyesterharzen durchgeführt.

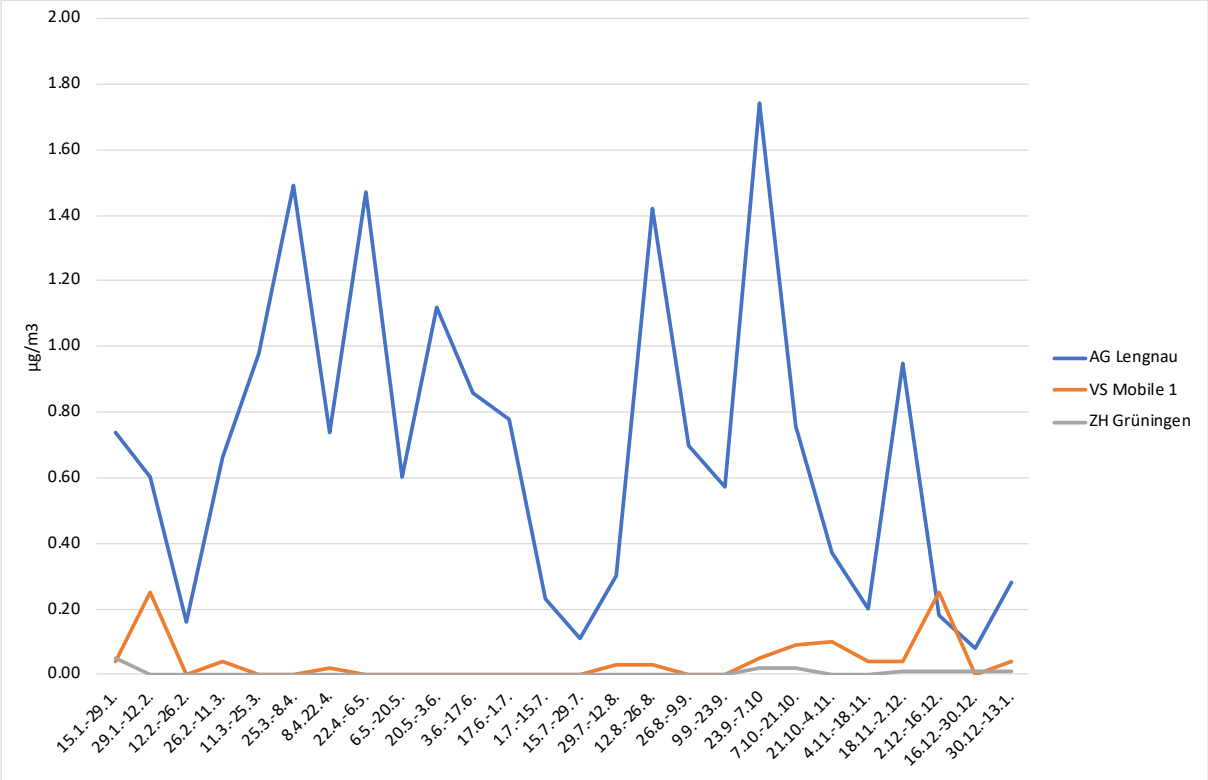


Abbildung 47 Styrolwerte in Lengnau, Baltschieder (VS Mobile 1) und Grüningen

Cyclohexan

Elf Standorte zeigen ein Cyclohexan-Jahresmittel grösser 0.2 $\mu g/m^3$. Wie schon in der letzten Kampagne vor fünf Jahren festgestellt, sind die Cyclohexan-Werte an allen Baselbieter und Basler Standorten erhöht. Interessant sind die vier mehrwöchigen Spitzenwerte in Boswil in der Nähe eines EPS-Produzenten.

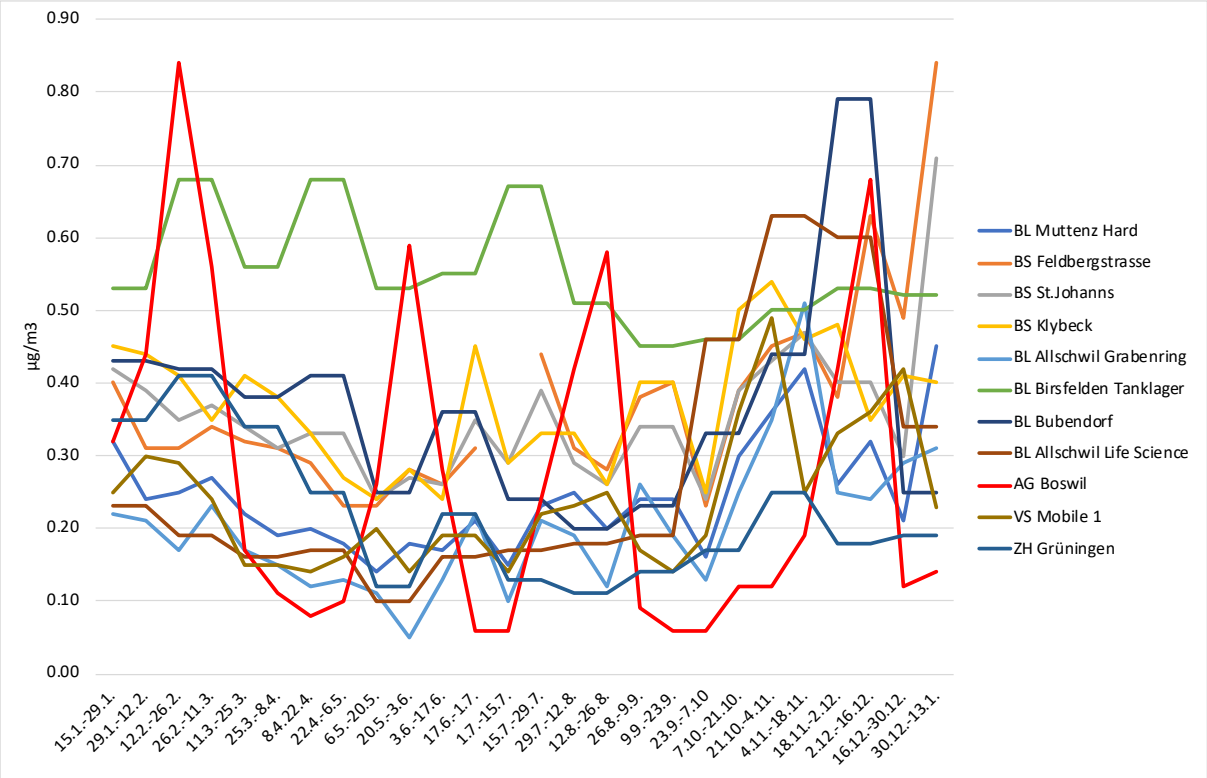


Abbildung 48 Cyclohexanwerte der 11 belastetsten Standorte

n-Hexan

n-Hexan wurde nur in den Proben aus den beiden Basel analysiert. In Abbildung 49 sind die Jahresgänge an den acht Standorten dargestellt. In Birsfelden, Bubendorf und Allschwil Life Science erfolgten vierwöchige Probenahmen, die wie zwei 14-tägige Probenahmen abgebildet werden. Wie bei allen Alkanen dominiert der Standort Birsfelden Tanklager. Auffällig ist ein Peak in Bubendorf im April. Die Messstelle ist in der Nähe von chemischer Industrie.

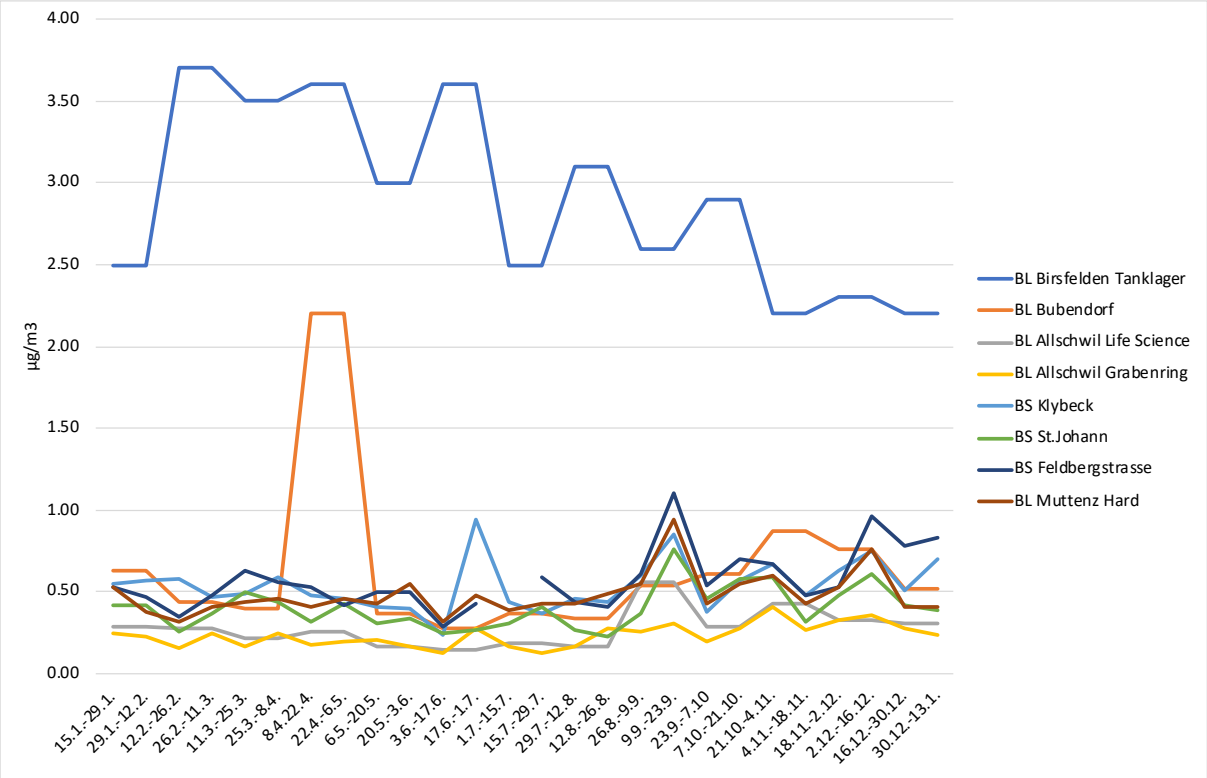


Abbildung 49 n-Hexan-Werte in beiden Basel

n-Heptan

Die höchsten n-Heptan-Jahresmittel wurden in Birsfelden Tanklager mit 1.24 $\mu g/m^3$, in Bubendorf mit 0.89 $\mu g/m^3$ und in Grüningen mit 0.55 $\mu g/m^3$ bestimmt. Die übrigen Standorte zeigen Jahresmittel zwischen 0.45 $\mu g/m^3$ (Basel Feldbergstrasse) und 0.10 $\mu g/m^3$ (Rothenbrunnen). Starke Schwankungen durch industrielle Einflüsse können in Bubendorf festgestellt werden

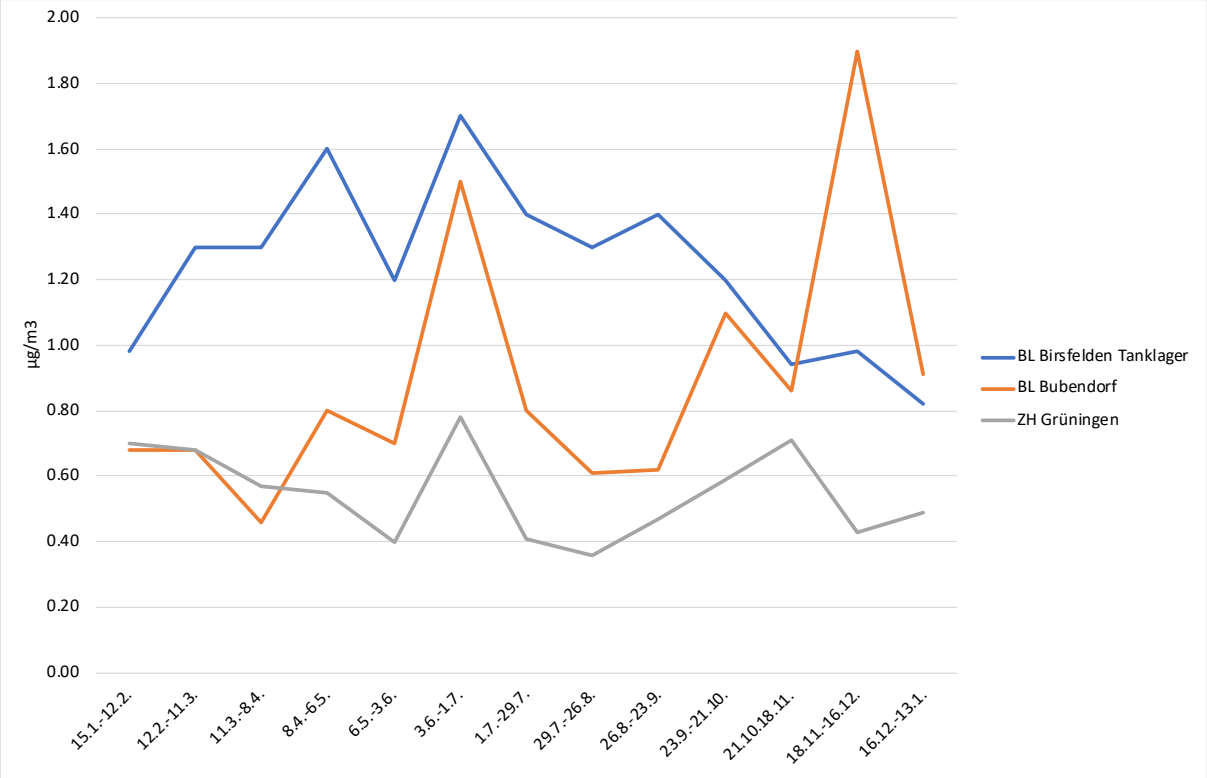


Abbildung 50 n-Heptan-Werte an den drei belastetsten Standorten

Chlorierte Verbindungen

Mit Ausnahme des ubiquitären Tetrachlorkohlenstoffs wurden nur geringe Mengen chlorierter Verbindungen analysiert. An keinem Standort konnte 1,1,1-Trichlorethan, 1,1,2,2-Tetrachlorethan, Trichlorethen oder 1,4-Dichlorbenzol nachgewiesen werden. Einzig in Altdorf fand sich in einzelnen Proben 1,3-Dichlorbenzol. 1.2-Dichlorbenzol konnte an einigen Standorten in Spuren analysiert werden, in Massongex allerdings mit einem Jahresmittel von 0.23 $\mu g/m^3$. Die Jahresmittel für 1,1,2-Trichlorethan und Chlorbenzol bewegen sich zwischen 0 und 0.05 $\mu g/m^3$, für Tetrachlorethen (Per) zwischen 0.02 und 0.08 $\mu g/m^3$, für Chloroform zwischen 0.04 und 0.10 $\mu g/m^3$ und für 1,2-Dichlorethan zwischen 0.05 und 0.14 $\mu g/m^3$.

8 Schlussfolgerungen

In der VOC-Messkampgne 2024 wurden gleichzeitig an 26 Standorten in elf Kantonen während eines Jahres die VOC-Immissionen bestimmt. Dadurch konnte ein guter Überblick über die Belastungssituation in der Schweiz gewonnen werden.
15 dieser Standorte waren bereits in der VOC-Messkampagne 2019 beprobt worden. Die 2024 analysierten aromatischen Verbindungen zeigten an allen Stationen geringere Konzentrationen als vor fünf Jahren. Einzelne Standorte waren auch schon in den früheren Messkampagnen 1991, 1996, 2001, 2009 und 2014 beprobt worden. Der Rückgang der VOC-Immissionskonzentrationen ist beträchtlich und deckt sich weitgehend mit den Emissionserhebungen des BAFU. Die Befunde aus dem auf wenige Standorte beschränkten NABEL-VOC-Messnetz werden mit den vorliegenden Ergebnissen bestätigt und auf eine breitere Basis gestellt.
An den 12 bereits 2014 beprobten Standorten[4] wird ein Rückgang der VOC-Emissionen[5] in den letzten zehn Jahren um durchschnittlich 48 % festgestellt. Dies zeigt, dass die emissionsmindernden Massnahmen im Verkehr und in Industrie und Gewerbe (VOC-Lenkungsabgabe) immer noch Wirkung entfalten.

Frühere Kampagnen haben gezeigt, dass bei sinkenden Immissionswerten die Blindwerte der Passivsammler zunehmend zu einem Problem werden. Mit den neu in der Kampagne verwendeten Passivsammlern konnte dieses Problem entschärft werden. Für künftige Messkampagnen ist zu überlegen, die Probenahmedauer von zwei auf vier Wochen zu verlängern, wie dies in der aktuellen Kampagne an vier Standorten bereits geschehen ist. Die Jahresgänge werden dadurch zwar etwas nivelliert, dafür werden die Sammler-Blindwerte weniger problematisch. Zudem können mit einer Halbierung der Analysenanzahl Kosten gesenkt werden, was die Beprobung zusätzlicher Standorte begünstigt.

Bei den Strassen-nahen Standorten führt insbesondere eine dichte Bebauung, welche die Ausbreitung der Schadstoffe verhindert, zu hohen Immissionen. Nicht direkt verkehrsexponierte Standorte zeigen einen deutlichen Jahresgang mit höheren Immissionen im Winter. Ländliche, quellferne Stationen weisen einen höheren Anteil des weniger reaktiven Benzols an den Immissionen auf.
Standorte in Industrienähe, wie in Birsfelden, Kreuzlingen und teilweise in Basel und im Wallis, zeigen erhöhte, stark schwankende Toluol-Werte, an den St.Galler Standorten werden diese Spitzenwerte wohl durch Belagsarbeiten in unmittelbarer Nähe verursacht. In Grüningen konnte zudem eine Punktquelle von Xylol und höheren Aromaten festgestellt werden. Die Walliser Standorte weisen höhere Immissionen chlorierter Verbindungen auf. Der Grund für die massiven Konzentrationsunterschiede (Faktor 100) zwischen aktiver und passiver Probenahme chlorierter Verbindungen im Wallis sollte genauer untersucht werden.
Die deutlich höchsten VOC-Immissionen werden in Birsfelden gemessen. Erstmals wurden im Rahmen dieser Kampagnen Messungen bei einem Tanklager durchgeführt. In künftigen Kampagnen wären zum Vergleich zusätzliche Standorte bei anderen Tanklagern wünschenswert. Grundsätzlich sind in Zukunft Industrie- und Gewerbe-nahe Standorte interessanter, nachdem ursprünglich vor allem Verkehrs-exponierte Messstellen ausgewählt worden sind.
In Baustellennähe zeigen sich die höchsten Spitzenwerte der Kampagne, insbesondere bei Teerarbeiten. Massnahmen zur Senkung des VOC-Gehaltes von Strassenbauprodukten sind angezeigt.

Die Monoterpen-Konzentrationen sind bei Standorten in Waldnähe erwartungsgemäss am höchsten. Dominierende Komponenten sind alpha- und beta-Pinen. In den Städten dominiert dagegen Limonen. Der alpha-Pinen/Limonen-Koeffizient ist in ländlichen Gebieten am höchsten und nimmt mit zunehmender Siedlungsdichte ab.

[4] Basel Feldbergstrasse und Muttenz Hard nicht berücksichtigt, da Baustellen-bedingt verschoben.
[5] ∑ ausgewählter VOC (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o/m/p-Xylol, Mesitylen, Pseudocumol, n-Heptan und Isooctan)

Nach Covid 19 sind die Fahrleistungen im Personenverkehr deutlich gesunken. Seit 2021 nehmen sie jedoch jedes Jahr wieder zu und auch künftig ist mit gesteigerten Fahrleistungen zu rechnen. Auf der anderen Seite werden zunehmend veraltete Benzin- und Diesel-betriebene Fahrzeuge durch emissionsärmere oder elektrisch betriebene ersetzt, so dass mit einem Rückgang der Verkehrsemissionen gerechnet werden darf. Weitgehend ungelöst ist das Problem der Kaltstartemissionen, das vor allem in den Städten wegen der Kurzstrecken und des stop-and-go-Verkehrs für den Grossteil der Emissionen verantwortlich ist.

Die revidierte VOC-Verordnung wurde 2023 in Kraft gesetzt. Mit der Revision wurde die Erfüllung der Vorgaben für die Betriebe vereinfacht, ohne dass mit einem Anstieg der VOC-Emissionen gerechnet werden muss. Seit 2013 müssen Betriebe, die eine Abgabebefreiung nach Art. 9 VOCV beantragen, die diffusen Emissionen gemäss bester verfügbarer Technik reduzieren. Der Bund hat diese Vorgabe in branchenspezifischen Richtlinien konkretisiert. Weitere Emissionsreduktionen lassen sich erzielen, wenn diese beste verfügbare Technik von allen Betrieben, nicht nur jenen mit einer Befreiung, verlangt und für zusätzliche Branchen definiert wird, wie dies in einzelnen Kantonen bereits der Fall ist.
LRV und VOCV entfalten bei den Haushalts-Emissionen kaum Wirkung. Zwar konnten die Emissionen trotz Zunahme der Bevölkerung gesenkt gehalten werden. Da in anderen Sektoren jedoch deutlichere Emissionsreduktionen erzielt wurden, steigt der Anteil der VOC-Emissionen aus Haushalten an den Gesamtemissionen kontinuierlich an.

Die Ergebnisse der VOC-Messkampagne erlauben eine Plausibilisierung der gesamtschweizerischen Emissionserhebungen und eine Bewertung der Resultate zukünftiger Messungen, die vorzugsweise in der Umgebung von Industriefirmen und Tanklagern, aber auch bei Tankstellen und Gewerbebetrieben in Wohngebieten durchgeführt werden dürften. Sie dienen zudem durch Wiederholung der Messungen an einzelnen Standorten der Erfolgskontrolle emissionsmindernder Massnahmen.
Die Messungen bestätigen, dass die von Bund, Kantonen und Gemeinden getroffenen Massnahmen zur Reduktion der VOC-Emissionen wirken. Die Luftqualität wird auch bezüglich VOC immer besser. Die immer noch teilweise zu hohen Feinstaubwerte und vor allem die flächendeckend zu hohen Ozonwerte zeigen aber, dass die Luftbelastung durch VOC noch weiter gesenkt werden muss.