

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone

Messbericht 2017

Andrea Fischer und Christoph Hüglin

Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Dübendorf, Dezember 2018

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien,
Sektion Luftqualität, 3003 Bern

Auftragnehmer: Empa, Abt. Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Autoren: Andrea Fischer, Christoph Hüglin

Kontakt: andrea.fischer@empa.ch

Dieser Bericht ist abrufbar unter: <http://empa.ch/web/s503/weitere-dokumente>

Dübendorf, Dezember 2018

Inhaltsverzeichnis:

1	Zusammenfassung	3
2	Résumé	5
3	Messkonzept	7
	3.1 Messstationen und Messbetrieb	7
	3.2 Probenahme	10
	3.3 Analytik	10
	3.4 Toxizität	11
4	Resultate der PAK-Analysen	13
5	Detaillierte Darstellung der Resultate für Benzo(a)pyren	19
6	Literaturverzeichnis	28
	Anhang	30

1 Zusammenfassung

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien wie Holz, Benzin, Heiz- und Dieselöl. PAK stellen wegen ihrer kanzerogenen und mutagenen Wirkung eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar (WHO Regional Office for Europe, 2000; IARC, 2010; IARC 2013; ETC/ACM 2014). Aufgrund dieser Gesundheitsgefährdung hat die Europäische Union in ihrer Richtlinie 2004/107/EC vom 15. Dezember 2004 (EU-Commission 2004) einen Zielwert (Jahresmittelwert) für das krebserregende Benzo(a)pyren (BaP) im atmosphärischen Feinstaub von 1 ng/m^3 festgelegt. Zudem soll (mit geringerer Messstellendichte) eine Reihe weiterer polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe im Feinstaub (PM10) analysiert werden, und zwar Benz(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(j)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Dibenzo(ah)anthracen und Fluoranthen.

Mit der Analyse der Proben auf PAK wurde 2017 wie bereits in den Vorjahren das Gewässerschutzlabor des Kantons Zürich beauftragt. Dieses Labor hat grosse Erfahrung in solchen Analysen und folgte methodisch den Vorgaben der EN-Norm (CEN 2008). Zusätzlich zu den von der europäischen Richtlinie geforderten PAK bestimmte das Labor auch noch Pyren, Chrysen und Benzo(ghi)perylene.

Die Schweiz legt für krebserregende Substanzen keine Immissionsgrenzwerte fest, da für deren Emissionen unabhängig von den auftretenden Immissionen das Minimierungsgebot gilt. Um einen Überblick über die in der Schweiz auftretenden Immissionskonzentrationen von PAK im PM10 zu erhalten, werden seit 2006 Analysen an ausgewählten NABEL-Stationen durchgeführt. Da im NABEL nur die Messstation Magadino-Cadenazzo einen starken und zeitweise dominierenden Einfluss der im Zusammenhang mit PAK sehr wichtigen Holzverbrennung aufweist, werden seit 2007 die Messungen mit kantonalen Messstationen ergänzt. Dabei sind insbesondere Standorte ausgewählt worden, welche durch Emissionen aus Holzfeuerungen beeinflusst sind. Seit 2007 ist die stark exponierte Messstation San Vittore (GR) im Misox in die Untersuchung einbezogen. Von Mitte 2010 bis Mitte 2012 sind die Resultate mit Daten der Station Ebnat-Kappel im Toggenburg, von Januar 2014 – März 2015 der Station Altstätten im St. Galler Rheintal, und von März 2015 bis April 2017 der Station Flums (SG) ergänzt worden. Für das Jahr 2015 sind Daten der Messstationen Braunwald (GL) ins PAK-Messprogramm integriert worden. Am Standort Appenzell sind Messungen von Oktober 2011 bis Ende 2013 sowie 2016 bis 2017 durchgeführt worden. Seit April 2017 werden Messungen der Station Grabs im St. Galler Rheintal integriert, eine Station die bereits 2009 für ein Jahr Teil des Messprogramms war.

Im Jahr 2017 wurde, wie bereits im Vorjahr, auch in San Vittore, jener Messstation mit den höchsten Konzentrationen, der europäische Zielwert von 1 ng/m^3 mit einem Jahresmittelwert von 0.86 ng/m^3 nicht überschritten. An allen anderen untersuchten Stationen lag die Belastung 2017 deutlich unter dem europäischen Zielwert. Die ländlichen Standorte San Vittore, Magadino-Cadenazzo, Grabs und Flums sind deutlich von Emissionen der Holzverbrennung beeinflusst, im Vergleich zu den anderen Stationen zeigen diese Stationen klar erhöhte Messwerte.

Die Benzo(a)pyren Belastung hat an allen untersuchten NABEL-Standorten seit Messbeginn im Jahr 2006 abgenommen und liegt inzwischen für alle Stationen deutlich unter dem europäischen Zielwert von 1 ng/m^3 .

Der langjährige Verlauf der Quartalswerte der BaP-Konzentrationen weist an allen Messstationen eine ausgeprägte Saisonalität auf, mit hohen Werten im Winter und deutlich tieferen Werten im Sommer.

Dieser Bericht gibt eine Übersicht über das Messprogramm, die angewendeten Messverfahren und über die Resultate der durchgeführten Messungen in der Messperiode 2006 – 2017.

2 Résumé

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) se forment lors de la combustion incomplète de matériaux organiques, tels que le bois, l'essence, le diesel ou le mazout. Ils constituent un danger pour la santé en raison de leur caractère cancérigène et mutagène (cf. WHO Regional Office for Europe 2000 ; IARC, 2010; IARC 2013; ETC/ACM 2014). En raison de ce risque pour la santé, l'Union européenne a adopté la directive 2004/107/CE le 15.12.2004 (EU-Commission 2004) et y a établi une valeur-guide de 1 ng/m^3 en moyenne annuelle pour le benzo(a)pyrène cancérigène (BaP) présents dans les poussières fines. Plusieurs autres HAP contenus dans les PM10 sont aussi à surveiller, même si cela se fait avec une densité de stations de mesures plus réduite. Il s'agit des composés suivants : benzo(a)anthracène, benzo(b)-fluoranthène, benzo(j)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indeno(1,2,3-cd)pyrène, dibenzo(ah)anthracène et fluoranthène (cf. tab. 3 et fig. 3 avec les indications des différentes toxicités).

Les analyses d'HAP sont confiées depuis le début des mesures au Laboratoire de protection des eaux du canton de Zürich qui dispose d'une large expérience dans ce domaine et applique les prescriptions de la norme européenne en la matière (CEN 2008). En plus des HAP recommandés par la directive européenne, le laboratoire a aussi déterminé les concentrations de pyrène, chrysène et de benzo(ghi)perylène.

La Suisse n'a pas établi de valeur limite d'immission pour les substances cancérigènes mais limite les émissions autant que possible, indépendamment des immissions enregistrées (limitation préventive en fonction du principe de précaution). Afin d'obtenir une vue d'ensemble des concentrations d'immission de HAP contenus dans les PM10 en suisse, des analyses ont été effectuées, depuis 2006, dans des stations NABEL sélectionnées (cf. fig. 7). Dans le réseau NABEL, la station de Magadino est la seule qui est particulièrement exposée aux émissions des chauffages à bois. C'est la raison pour laquelle des mesures complémentaires ont été effectuées dans des stations cantonales sur des sites où les chauffages à bois constituent des sources importantes de HAP. Il s'agit des stations de San Vittore (GR) dans le Val Mesolcina depuis 2007, de Ebnat-Kappel dans le Toggenburg, de la mi-2010 à mi-2012, d'Altstätten dans la vallée du Rhin st-galloise de janvier 2014 à mars 2015 et Flums (SG) de mars 2015 à avril 2017. En 2015, d'autres données ont été intégrées dans le programme de mesures des HAP avec la station de Braunwald (GL). Sur le site d'Appenzell, des mesures se sont déroulées d'octobre 2011 jusqu'à la fin 2013 et de 2016 à 2017. Depuis avril 2017, les mesures de la station Grabs dans la vallée du Rhin saint-galloise ont été intégrées. Une station qui faisait déjà partie du programme de mesure pour une année en 2009 (cf. vue d'ensemble au tab. 2).

En 2017, toutes les stations de mesures, y compris à la station la plus chargée de San Vittore, ont enregistré des valeurs inférieures à la valeur-guide européenne fixée à 1 ng/m^3 avec une

moyenne annuelle de 0.86 ng/m³. L'exposition 2017 des autres stations étudiées était nettement inférieure à la valeur cible européenne. Les stations rurales de San Vittore, Magadino-Cadenazzo, Grabs et Flums, qui sont largement influencées par les émissions de chauffages à bois, font apparaître des moyennes clairement plus élevées que les autres stations rurales (cf. fig. 6).

La charge en benzo(a)pyrène a diminué dans toutes les stations NABEL depuis le début des mesures en 2006 et se trouve aussi pour toutes les autres stations largement en dessous de la valeur-guide européenne fixée 1 ng/m³ (cf. fig. 8).

L'évolution à long terme des valeurs trimestrielles des concentrations de BaP montre une saisonnalité prononcée dans toutes les stations de mesure, avec des valeurs élevées en hiver et des valeurs plus faibles en été.

Ce rapport donne une vue d'ensemble du programme de mesures, en décrit la méthodologie appliquée et les principaux résultats de mesures entre 2006 et 2017.

3 Messkonzept

3.1 Messstationen und Messbetrieb

In Tabelle 1 sind die Stationen aufgeführt und kurz charakterisiert, an denen 2017 PAK-Analysen durchgeführt wurden. Eine zeitliche Darstellung des Messbetriebes an den verschiedenen Standorten seit Messbeginn im Jahr 2006, sowie Angaben über den Messbetreiber zeigt Tabelle 2. Eine detaillierte Charakterisierung der NABEL-Stationen findet sich im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2018). Die Lage der Station San Vittore ist auf der Webseite des Amtes für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden näher beschrieben (www.luft.gr.ch). Im PAK Messprogramm 2017 waren auch die von Ostluft (www.ostluft.ch) betriebenen Stationen Flums und Grabs. Die seit April 2015 ins PAK-Messprogramm aufgenommene Hintergrundstation Flums im Kanton St. Gallen (Höhe: 469 m ü.M.; Koordinaten: 744135/218550) befindet sich im Seeztal auf dem Gelände der ARA Flums-Seez, abseits von verkehrsreichen Strassen und Siedlungen. Die Messstation Grabs (Höhe: 469 m ü.M.; Koordinaten: 2752175/1227830) im St. Galler Rheintal liegt in einem Wohnquartier im Dorfzentrum von Grabs, rund 50 m von einer Verkehrsachse entfernt. In Grabs wurden 2017 in den Quartalen 2 bis 4 Messungen durchgeführt. Bereits im Jahr 2009 wurden an diesem Standort erste Messungen durchgeführt. Die von Oktober 2011 bis Ende 2013 und 2016 – 2017 im Messprogramm vorhandene Station Appenzell (Höhe: 775 m ü.M.; Koordinaten: 2748735/1244230) lag im Dorfzentrum beim Feuerschaugebäude und wies einen geringen Verkehrseinfluss auf. Diese Station repräsentierte die Situation in einem Wohnquartier eines grösseren Dorfes in ausgeprägter Tallage. Die von Mitte 2010 bis Mitte 2012 betriebene Station Ebnat-Kappel (Höhe: 630 m ü.M.; Koordinaten: 2727350/1236350) befand sich im Dorfzentrum an einer Nebenstrasse und repräsentierte eine Situation in einer ländlichen Gemeinde mit hohem Holzfeuerungsanteil. Die Messstation Altstätten (Höhe: 451 m ü.M.; Koordinaten: 2759025/1249860) war von Januar 2014 bis März 2015 in Betrieb und repräsentierte die Situation einer ländlichen Gemeinde mit einem erhöhten Holzfeuerungsanteil. Altstätten liegt in einer Randlage des St. Galler Rheintals, und die Station befand sich an einer Hauptverkehrsstrasse im Dorfzentrum. Im Jahr 2015 war die Station Braunwald (Höhe: 1256 m ü.M.; Koordinaten: 2718725/1199807) im Kanton Glarus im PAK-Messprogramm. Die Messstation befand sich bei der Bergstation Braunwaldbahn im autofreien Kur- und Fremdenverkehrsort Braunwald.

Tab. 1: Charakterisierung der Stationen, an welchen 2017 PAK-Analysen durchgeführt wurden.

Basel-Binningen	vorstädtisch, am Stadtrand von Basel auf dem Gebiet der Gemeinde Binningen
Bern-Bollwerk	städtisch, direkt an Hauptverkehrsachse, ca. 3 m vom Strassenrand in Strassenschlucht
Dübendorf-Empa	vorstädtisch, ca. 150 m von Hauptverkehrsstrasse entfernt
Härkingen-A1	ländlich, ca. 20 m nördlich der Autobahn A1
Lausanne-César-Roux	städtisch, verkehrsbelastet
Lugano-Università	städtisch, in relativ offener Hofsituation
Magadino-Cadenazzo	ländlich, unterhalb 1000 m ü.M., Alpensüdseite
Payerne	ländlich, unterhalb 1000 m ü.M.
Sion-Aéroport-A9	ländlich, an der Autobahn A9
Tänikon	ländlich, unterhalb 1000 m ü.M.
Zürich-Kaserne	städtisch, Hofsituation, nicht unmittelbar verkehrsbelastet
San Vittore	Dorfzentrum, im Talboden eines Alpentals, 280 m ü.M.
Appenzell	Dorfzentrum, ausgeprägte Tallage, 775 m ü.M.
Flums	Hintergrundstation im Seeztal, abseits von Strassen und Siedlungen, 437 m ü.M.
Grabs	Dorfzentrum, im Talboden des St. Galler Rheintals, 469 m ü.M.

Tab. 2: Zeitliche Darstellung der durchgeführten PAK-Messungen.

Messnetzbetreiber		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Basel-Binningen	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Bern-Bollwerk	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Dübendorf-Empa	NABEL					[Messung durchgeführt]								
Härkingen-A1	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Lausanne-César-Roux	NABEL					[Messung durchgeführt]								
Lugano-Universität	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Magadino-Cadenazzo	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Payerne	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Sion-Aéroport-A9	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Tänikon	NABEL	[Messung durchgeführt]												
Zürich-Kaserne	NABEL	[Messung durchgeführt]												
San Vittore	Kt. Graubünden		[Messung durchgeführt]											
Grabs	Ostluft				[Messung durchgeführt]								[Messung durchgeführt]	
Ebnat-Kappel	Ostluft					[Messung durchgeführt]								
Appenzell	Ostluft						[Messung durchgeführt]					[Messung durchgeführt]		
Altstätten	Ostluft									[Messung durchgeführt]				
Flums	Ostluft										[Messung durchgeführt]			
Braunwald	Ostluft										[Messung durchgeführt]			
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	

3.2 Probenahme

An den ausgewählten Stationen wurden die PAK-Konzentrationen in PM10 quartalsweise analysiert. Dazu wurde aus den täglichen Feinstaubfiltern (Pallflex Tissuquarz), nach erfolgter Massenbestimmung, eine Rondelle von 14 mm Durchmesser ausgestanzt und quartalsweise zu einer Probe vereinigt. Von der Station San Vittore standen Filter von jedem 12. Tag zur Verfügung. Um etwa dieselbe Probenmenge zu erreichen, wurden hier pro Filter je 4 Rondellen mit einem Durchmesser von 25 mm zu Quartalsproben vereinigt. Von Grabs standen Filter von jedem 12. Tag zur Verfügung und es wurden je 21 (Quartal 2), 24 (Quartal 3) und 23 (Quartal 4) Rondellen mit einem Durchmesser von 20 mm zu einer Quartalsprobe vereinigt. Bei der Station Flums wurden aus Filtern jedes 4. Tages 22 Rondellen mit einem Durchmesser von 20 mm zu Quartalsproben (Quartal 1) vereinigt. Detaillierte Angaben über die Messmethodik zur Sammlung von Feinstaub auf Filtern sind im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2018) enthalten.

Aus den Siedepunkten der PAK kann abgeschätzt werden, bei welchen PAK Sammelverluste durch Verflüchtigung vom Filter auftreten können. Bei den üblichen Sammeltemperaturen muss unterhalb eines Siedepunkts von rund 450 °C (entsprechend den Verbindungen mit 4 oder weniger Ringen) mit merklichen Verlusten gerechnet werden. Die Ergebnisse der PAK bis und mit Chrysen haben deshalb nur orientierenden Charakter. Bei den Verbindungen mit 5 und mehr Ringen sind die Sammelverluste durch Verflüchtigung bei den üblichen Sammeltemperaturen kleiner als 10 % (Schauer et al. 2003) und damit deutlich tiefer als die analytische Messunsicherheit von rund 20 %.

Ein weiteres Problem der PAK-Messung stellt die teilweise Oxidation der gesammelten PAK auf dem Probefilter durch Ozon dar. Vergleichsmessungen in München und Karlsruhe, mit einer Probenahme mit und ohne Ozondenuder, zeigten einen klaren Zusammenhang zwischen Ozonkonzentrationen und PAK-Verlusten. Gemäss Schauer *et al.* (2003) können bei der Sammlung von Tagesproben auf dem Filter z.B. bei Ozonkonzentrationen über 120 µg/m³ 40 % und mehr des Benzo(a)pyrens verloren gehen. Da aber an den hier untersuchten Standorten erhöhte Konzentrationen von PAK praktisch nur im Winter bei tiefen Ozonkonzentrationen auftreten, spielt dieses Problem bei den hier präsentierten Daten zumindest für die Winter- und Jahresmittelwerte kaum eine Rolle.

3.3 Analytik

Mit der Analyse der Proben des Jahres 2017 auf PAK wurde wie in den Vorjahren das Gewässerschutzlabor des Kantons Zürich beauftragt. Dieses Labor hat grosse Erfahrung in

solchen Analysen und folgte methodisch den Vorgaben der EN-Norm (CEN 2008). Zusätzlich zu den von der europäischen Richtlinie geforderten PAK bestimmte das Labor auch Pyren, Chrysen und Benzo(ghi)perylene (Tab. 3).

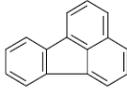
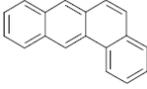
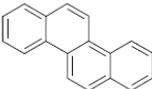
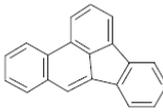
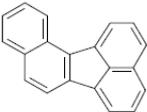
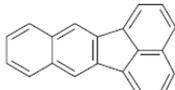
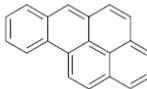
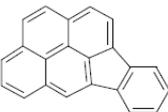
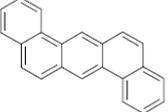
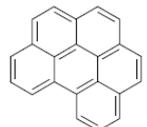
Als wichtiges Element der Qualitätssicherung wurde wiederum der zertifizierte PM10-Referenzstaub ERM-CZ100 des European Institute for Reference Materials and Measurements (Geel, Belgium) mitanalysiert. Die Wiederfindungsraten bewegten sich zwischen 82 – 98 %, die analytische Messunsicherheit beträgt rund 20 %.

3.4 Toxizität

Tabelle 3 listet die analysierten PAK mit ihren Siedepunkten, den zugehörigen Toxizitäts-Äquivalentfaktoren (Nisbet and LaGoy 1992) sowie ihren Strukturformeln auf. Die Toxizitäts-Äquivalentfaktoren geben die relative Toxizität im Vergleich zu Benzo(a)pyren (TEF = 1) an. Benzo(b)fluoranthren und Benzo(j)fluoranthren konnten chromatographisch nicht getrennt werden und resultieren daher als Summe. Da beide Substanzen identische TEF-Werte aufweisen gehen keine Toxizitätsinformationen verloren.

Bei der US EPA (United States Environmental Protection Agency) befindet sich zurzeit eine neuere Beurteilung der Schädlichkeit verschiedener PAK im Vernehmlassungsverfahren (EPA 2010).

Tab. 3: Gemessene PAK mit ihren Siedepunkten (°C), Toxizitäts-Äquivalentfaktoren (TEF) (Nisbet and LaGoy 1992) und Strukturformeln.

Verbindung	Siedepunkt	TEF	Struktur
Fluoranthren	384	0.001	
Pyren	364	0.001	
Benz(a)anthracen	435	0.1	
Chrysen	441	0.01	
Benzo(b)fluoranthren	481	0.1	
Benzo(j)fluoranthren	481	0.1	
Benzo(k)fluoranthren	481	0.1	
Benzo(a)pyren	496	1	
Indeno(1,2,3,cd)pyren	534	0.1	
Dibenzo(ah)anthracen	535	1	
Benzo(ghi)perylen	542	0.01	

4 Resultate der PAK-Analysen

Einen Überblick über die Messresultate 2017 aller Stationen gibt die Tabelle 4. Grafisch sind die Jahresmittelwerte der Konzentrationen der toxikologisch relevanten PAK im PM₁₀ in der Abbildung 1 dargestellt. Es werden jene 6 PAK gezeigt die mehr als 1 % zum toxischen Potential beitragen. Abbildung 2 zeigt die prozentuale Verteilung 2017 der einzelnen PAK an den verschiedenen Messstationen, wobei Fluoranthen, Pyren, Chrysen und Benzo(ghi)perylen wegen ihrer geringen toxikologischen Relevanz ($TEF \leq 0.01$) in einer Gruppe zusammengefasst wurden. Aus den beiden Abbildungen 1 und 2 ist ersichtlich, dass sich die Standorte in ihrer relativen Zusammensetzung der verschiedenen PAK nicht wesentlich unterscheiden.

Alle Quartalsmittelwerte der PAK-Konzentrationen der NABEL-Stationen sind im Anhang in der Tabelle A1, die entsprechenden Resultate der kantonalen Messstationen in der Tabelle A2 aufgelistet. Deutlich zu erkennen sind die saisonalen Variationen zwischen Sommer- und Winterquartalen. Es fällt auf, dass für alle relevanten PAK die höchsten Konzentrationen nicht an den stark verkehrsbelasteten Stationen Bern-Bollwerk, Lausanne-César-Roux oder Härkingen-A1, sondern an ländlichen Stationen wie San Vittore, Magadino-Cadenazzo und Grabs gemessen wurden. Dies ist ein klares Indiz für den wesentlichen Beitrag von Holzfeuerungen zur PAK-Belastung in den Wintermonaten. Darauf weist auch die Untersuchung von Zotter et al. (2014) hin, welche für San Vittore aufgrund von ¹⁴C-Messungen im Feinstaub einen grossen Einfluss der Biomassenverbrennung aufzeigt. Die vorhandenen Resultate der Winter-Quartalsmittelwerte von Grabs und Flums zeigen, dass auch in Tälern der Alpennordseite erhöhte PAK-Werte auftreten können. Die nur mässig hohen PAK-Konzentrationen in Lugano-Università zeigen zudem, dass die Alpensüdseite nicht generell erhöhte Werte aufweist.

Dass Emissionen von Holzfeuerungen tatsächlich bedeutende Mengen von PAK enthalten, ging bereits aus einer älteren Untersuchung der Kantone Zürich, Schaffhausen und Luzern hervor (Schläpfer 1995). Damals wurden die höchsten BaP-Werte nicht in Zürich oder Luzern, sondern während einer Winterkampagne im ländlichen Dorf Hemmental (SH) gemessen. Auch ein Bericht über die Benzo(a)pyrenbelastungen 2013 und 2014 in Bundesland Tirol (Österreich) zeigt höhere Belastungen in Siedlungsgebieten als an verkehrsexponierten Standorten (Krismer, 2015).

Tab. 4: Jahresmittelwerte 2017 der PM10-Konzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und PAK-Konzentrationen (ng/m^3).

Messstelle	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)anthracen	Chrysen	Benzo(b+j)fluoranthen	Benzo(k)fluoranthen	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3,cd)pyren	Dibenzo(ah)anthracen	Benzo(ghi)perylene
Basel	13.5	0.18	0.18	0.10	0.16	0.39	0.13	0.17	0.23	0.03	0.26
Bern	20.8	0.32	0.27	0.15	0.23	0.44	0.13	0.20	0.23	0.03	0.29
Dübendorf	13.8	0.14	0.13	0.07	0.12	0.29	0.09	0.11	0.16	0.02	0.17
Härkingen	15.6	0.23	0.21	0.13	0.22	0.47	0.13	0.19	0.25	0.03	0.27
Lausanne	16.4	0.17	0.15	0.07	0.12	0.23	0.07	0.08	0.12	0.01	0.15
Lugano	18.1	0.15	0.15	0.10	0.17	0.42	0.11	0.17	0.21	0.03	0.23
Magadino	18.5	0.19	0.24	0.26	0.52	0.88	0.22	0.36	0.36	0.11	0.48
Payerne	11.8	0.12	0.12	0.04	0.08	0.23	0.06	0.08	0.13	0.01	0.13
Sion	16.8	0.18	0.19	0.13	0.19	0.40	0.12	0.18	0.21	0.04	0.27
Tänikon	11.3	0.19	0.20	0.10	0.14	0.39	0.11	0.15	0.21	0.02	0.21
Zürich	14.8	0.18	0.16	0.08	0.14	0.34	0.10	0.12	0.18	0.03	0.20
San Vittore	19.5	0.44	0.48	0.51	0.59	1.36	0.39	0.86	0.70	0.11	0.75
Grabs	11.2	0.44	0.53	0.34	0.39	1.01	0.32	0.55	0.62	0.07	0.63

Bemerkung:

*Um einen korrekten Vergleich der PAK-Konzentrationen mit den PM10-Konzentrationen zu gewährleisten, bzw. um die korrekten PAK Gehalte zu bestimmen, wurden für die Berechnungen der PM10 Jahresmittelwerte nur die Tageswerte jener Tage verwendet die in die Bestimmung der PAK-Konzentrationen einfließen.

** Gewichtete Messwerte bei Grabs, da nur Proben vom zweitem bis viertem Quartal zur Verfügung standen

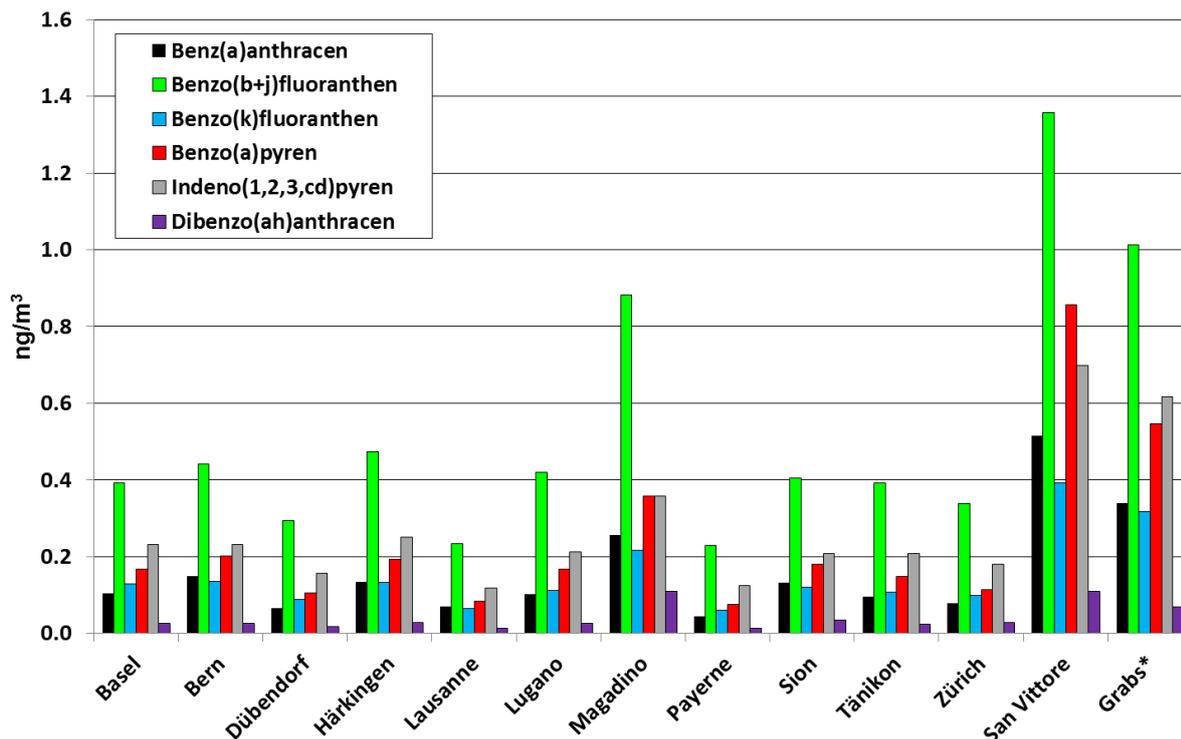


Abb. 1: Jahresmittelwerte 2017 der Konzentrationen der toxisch relevanten PAK im PM10. (*Gewichtete Messwerte bei Grabs, da nur Proben vom zweitem bis viertem Quartal zur Verfügung standen).

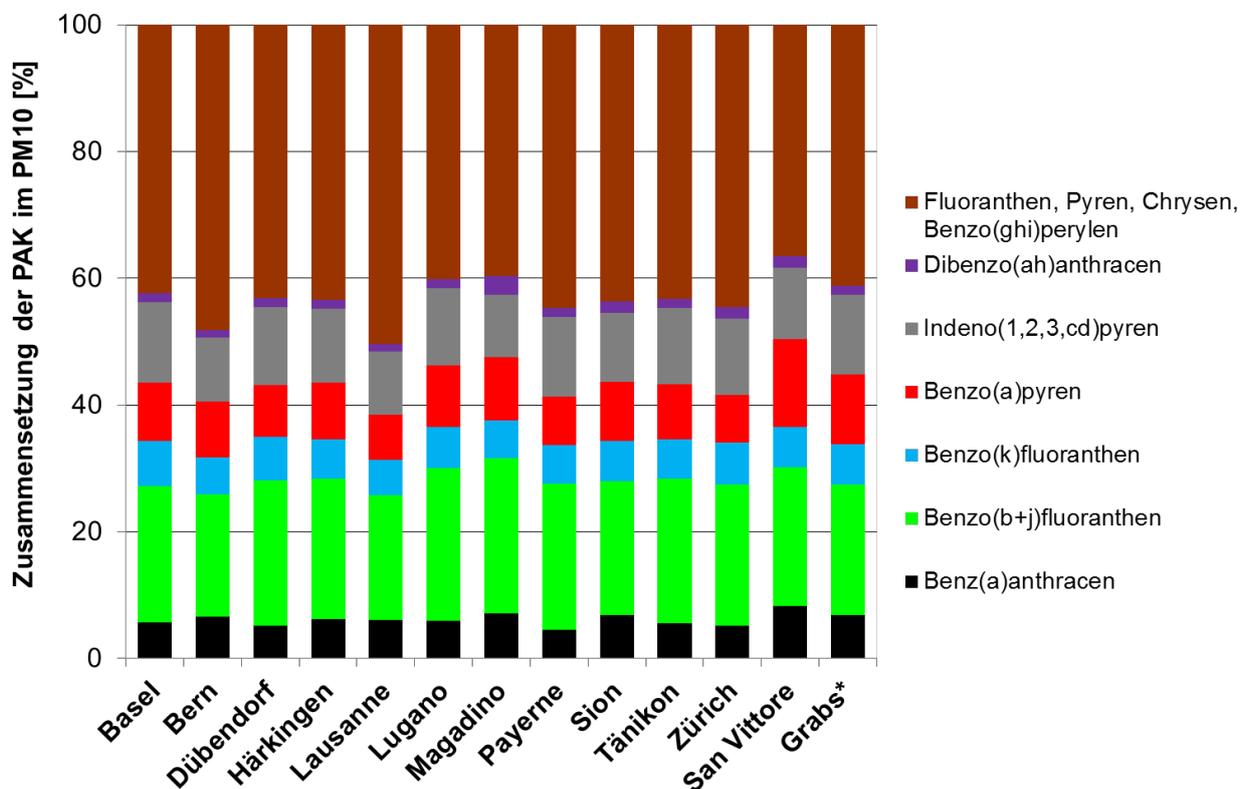


Abb. 2: Relative Zusammensetzung der 2017 gemessenen PAK im PM10.

Bei der Gewichtung der gemessenen PAK-Konzentrationen von 2017 mit den Toxizitäts-Äquivalentfaktoren (TEF) zeigt sich, dass Benzo(a)pyren allein für rund 60 % der Toxizität der PAK im Feinstaub verantwortlich ist. Zusätzlich tragen im Mittel Benzo(b+j)fluoranthren, Dibenzo(ah)anthracen, Indeno(1,2,3,cd)pyren, Benzo(k)fluoranthren und Benz(a)anthracen zu rund 14, 10, 8, 4 respektive 4 % zur Toxizität bei (Abbildung 3). Es fällt in Tabelle 5 und Abbildung 4 auf, dass die relativen Beiträge der einzelnen PAK zur Toxizität von PM10 an allen Stationen sehr ähnlich sind. Bei den Standorten San Vittore und Grabs haben die stark erhöhten Winter-Quartale einen grossen Einfluss auf die Verteilung der relativen Beiträge der einzelnen PAK zur Toxizität. In Abbildung 5 ist ein Vergleich der durch PAK bedingten Toxizität von PM10 an den einzelnen Messstationen im Jahr 2017 dargestellt. Gegenüber den anderen Stationen zeigen San Vittore, Magadino-Cadenazzo und Grabs deutlich erhöhte Werte. Die Toxizitätsäquivalente werden als Summenprodukte aus den einzelnen PAK-Konzentrationen und den dazugehörigen Toxizitäts-Äquivalentfaktoren (TEF) berechnet.

Tab. 5: Relative Beiträge der einzelnen PAK zur Toxizität von PM10 in % im Jahr 2017.

Messstelle	Fluoranthren	Pyren	Benz(a)anthracen	Chrysen	Benzo(b+j)fluoranthren	Benzo(k)fluoranthren	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3,cd)pyren	Dibenzo(ah)anthracen	Benzo(ghi)perylen
Basel	0.1	0.1	3.7	0.6	13.8	4.6	59.0	8.1	9.2	0.9
Bern	0.1	0.1	4.5	0.7	13.4	4.1	61.4	7.0	7.8	0.9
Dübendorf	0.1	0.1	3.6	0.6	15.8	4.7	56.4	8.5	9.4	0.9
Härkingen	0.1	0.1	4.1	0.7	14.5	4.1	59.1	7.7	8.9	0.8
Lausanne	0.1	0.1	4.7	0.8	15.6	4.4	56.8	7.9	8.5	1.0
Lugano	0.1	0.1	3.6	0.6	14.9	3.9	59.6	7.5	9.0	0.8
Magadino	0.0	0.0	4.0	0.8	13.6	3.4	55.1	5.5	16.8	0.7
Payerne	0.1	0.1	3.2	0.6	16.6	4.4	54.7	9.0	10.4	1.0
Sion	0.1	0.1	4.3	0.6	13.2	4.0	58.6	6.8	11.6	0.9
Tänikon	0.1	0.1	3.7	0.6	15.4	4.2	57.6	8.1	9.5	0.8
Zürich	0.1	0.1	3.6	0.6	15.7	4.6	53.3	8.4	12.8	0.9
San Vittore	0.0	0.0	4.0	0.5	10.6	3.1	67.0	5.5	8.7	0.6
Grabs	0.1	0.1	4.0	0.5	11.8	3.7	63.8	7.2	8.1	0.7

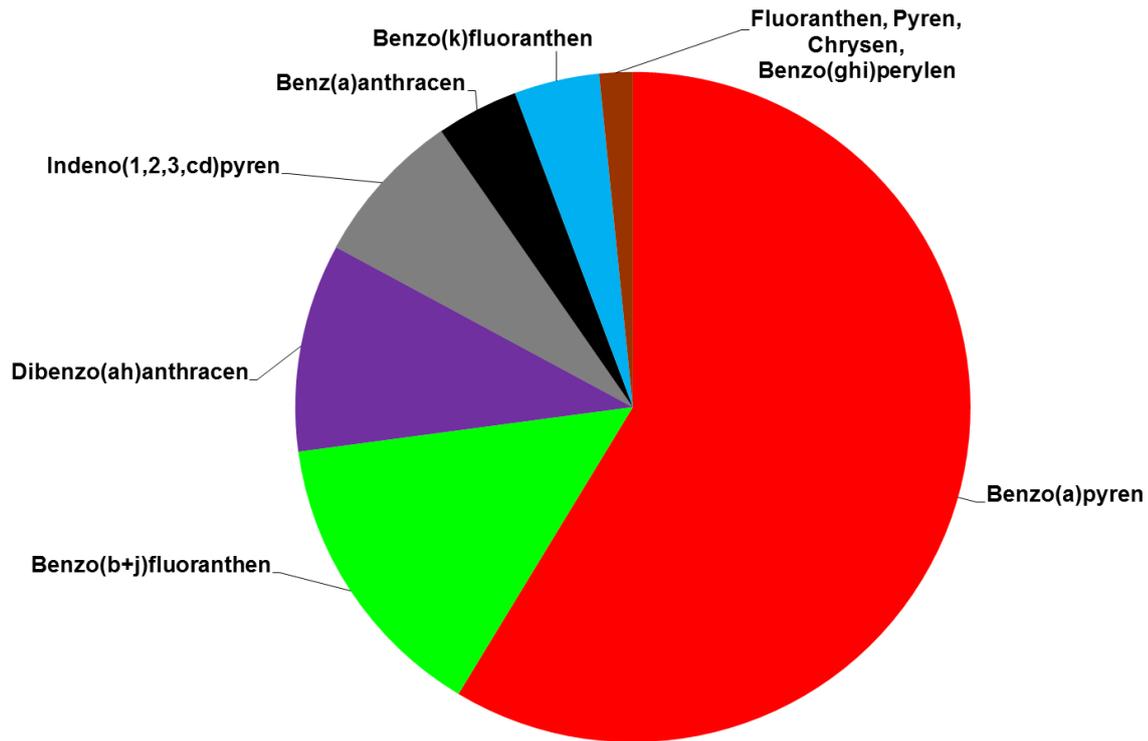


Abb. 3: *Mittlere Beiträge der einzelnen PAK an der gesamten Toxizität der 2017 im PM10 gemessenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (Mittelwerte aller Messstationen).*

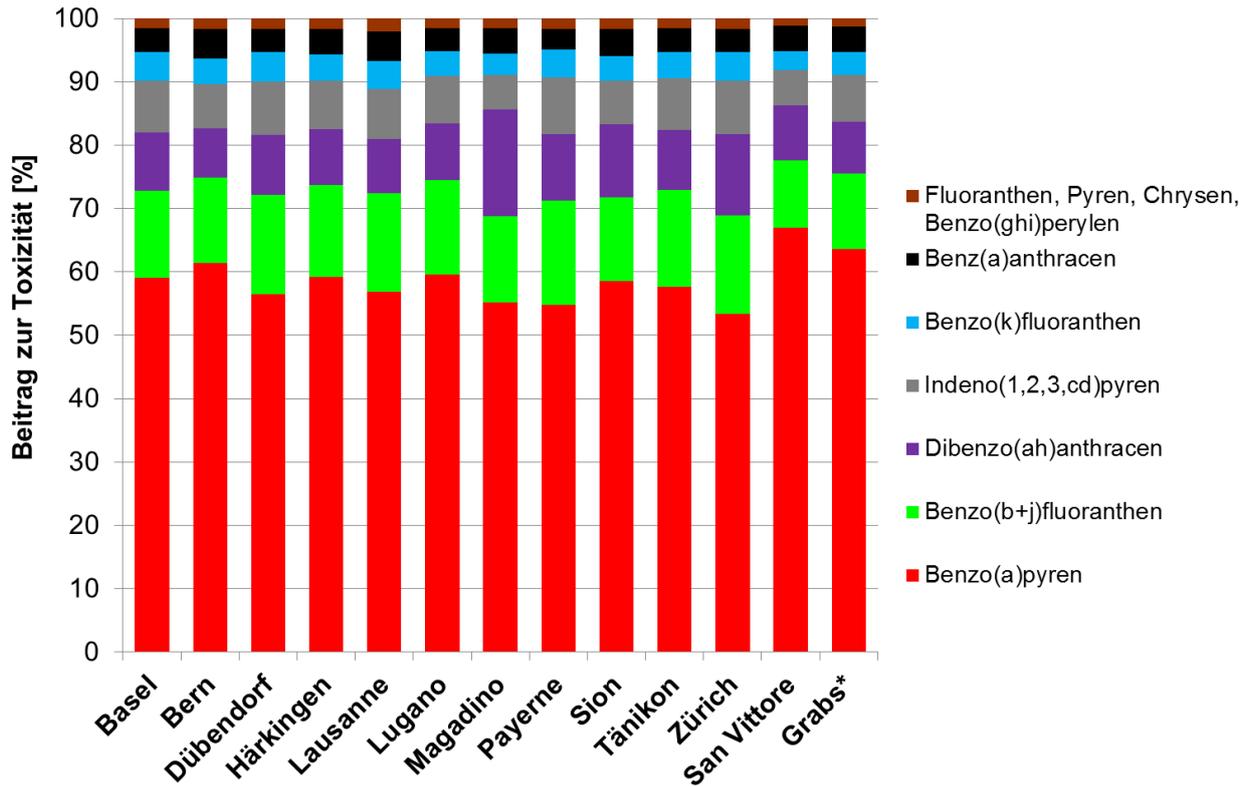


Abb. 4: Relative Beiträge der einzelnen PAK zur Toxizität von PM10 im Jahr 2017.

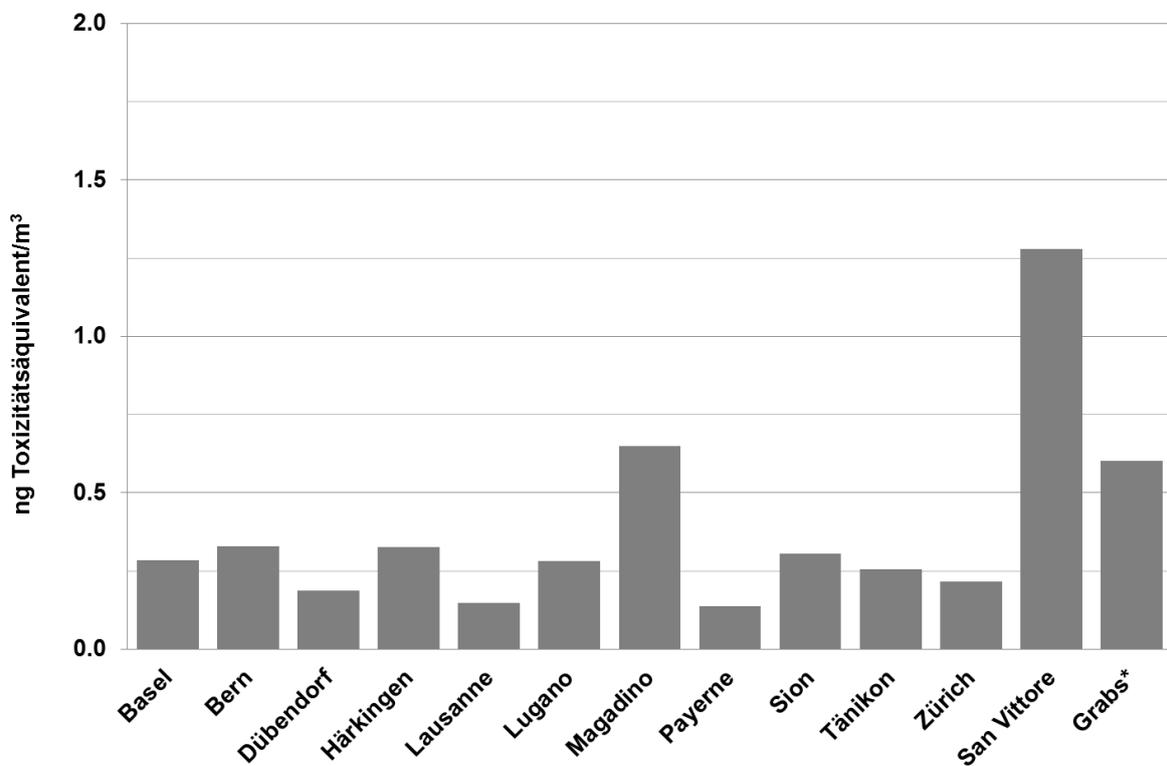


Abb. 5: Vergleich der durch PAK bedingten Toxizität von PM10 an den einzelnen Messstationen im Jahr 2017.

5 Detaillierte Darstellung der Resultate für Benzo(a)pyren

Tabelle 5 und in die Abbildungen 3 und 4 zeigen deutlich, dass Benzo(a)pyren (BaP) der mit Abstand wichtigste Indikator für die Toxizität der PAK im Feinstaub ist. Deshalb werden in diesem Kapitel die Ergebnisse der Messungen von BaP detaillierter analysiert und dargestellt.

Abbildung 6 zeigt die Jahresmittelwerte 2017 der Konzentrationen von BaP, sowie die entsprechenden PM10 Konzentrationen an den verschiedenen Stationen. Im Jahr 2017 wurde, wie bereits im Vorjahr, auch in San Vittore, jener Messstation mit den höchsten Konzentrationen, der europäische Zielwert von 1 ng/m^3 mit einem Jahresmittelwertwert von 0.86 ng/m^3 nicht überschritten. An allen anderen untersuchten Stationen lag die Belastung 2017 deutlich unter dem europäischen Zielwert.

Die Station San Vittore ist wegen ihrer Lage im Talgrund während winterlicher Inversionslagen besonders schlecht durchlüftet. Zudem sind in den Dörfern des Misox Holzfeuerungen sehr verbreitet. San Vittore weist das höchste Verhältnis von BaP/PM10 (0.044) der vollständigen Messreihen auf, einen ähnlichen Wert wie San Vittore zeigt der gewichtete Wert der Station Grabs (es standen nur Proben der Quartale 2 – 4 zur Verfügung). Es folgt das Verhältnis von der Station Magadino (0.019), auch dies ein Indiz für den wesentlichen Beitrag von Holzfeuerungen zur PAK-Belastung an diesen Standorten.

In den Abbildungen 7 und 8 ist der langjährige Verlauf der Jahresmittelwerte der Benzo(a)pyren-Konzentrationen an den verschiedenen Stationen seit Messbeginn im Jahre 2006 dargestellt. Die Benzo(a)pyren Belastung hat an allen untersuchten NABEL-Standorten seit 2006 abgenommen und liegt inzwischen für alle Stationen deutlich unter dem europäischen Zielwert von 1 ng/m^3 .

Den langjährigen Verlauf der Quartalswerte der Benzo(a)pyren-Konzentrationen aller Stationen zeigt die Abbildung 9. In Abbildung 10 sind die Quartalswerte der Gehalte von Benzo(a)pyren im PM10 aller Standorte im Beobachtungszeitraum dargestellt. Klar zum Ausdruck kommt in den beiden Abbildungen 9 und 10 die ausgeprägte Saisonalität der BaP-Belastungen. Diese kann nicht allein auf die schlechteren Ausbreitungsbedingungen im Winter zurückgeführt werden. Die folgenden Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Biomassenverbrennung einen deutlich grösseren Beitrag leistet als der Verkehr. Die Station San Vittore weist trotz Verkehrseinfluss durch die A13 im Sommer nur sehr geringe BaP-Konzentrationen auf. Zusammen mit den ebenfalls nur mässigen BaP-Konzentrationen an den stark verkehrsbelasteten NABEL-Stationen Bern-Bollwerk, Lausanne-César-Roux und Härkingen-A1 ist dies ein Hinweis für die eher geringe Bedeutung des Strassenverkehrs für die PAK-Belastungen der Aussenluft.

Wie in San Vittore zeigen auch die deutlich erhöhten Werte der Winterquartale an den Stationen Magadino-Cadenazzo, Grabs und Flums (sowie in früheren Jahren Ebnat-Kappel und Altstätten), dass die zahlreichen Holzfeuerungen in Verbindung mit austauschenden

Inversionslagen zu sehr hohen PAK-Belastungen führen können und bestätigen somit den dominierenden Einfluss der Biomassenverbrennung.

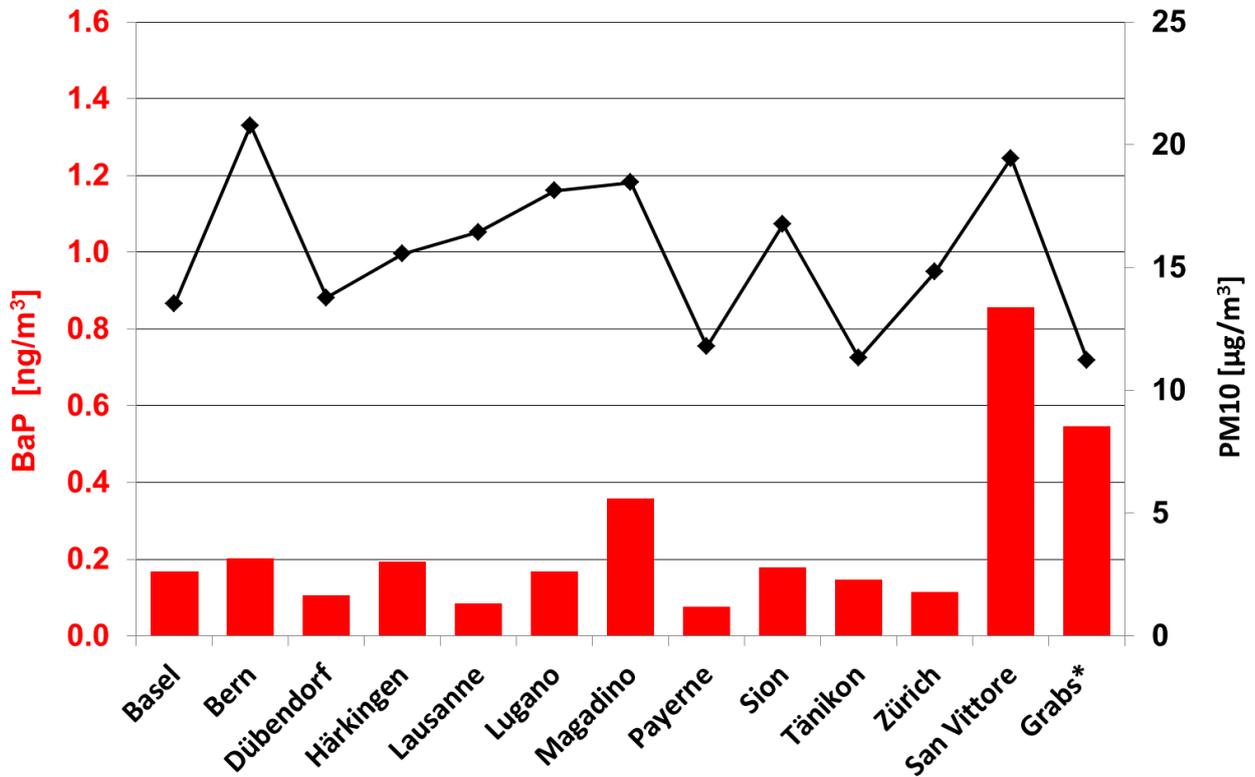


Abb. 6: Jahresmittelwerte 2017 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren und PM10. (*Gewichtete Messwerte bei Grabs, da nur Proben vom zweitem bis viertem Quartal zur Verfügung standen).

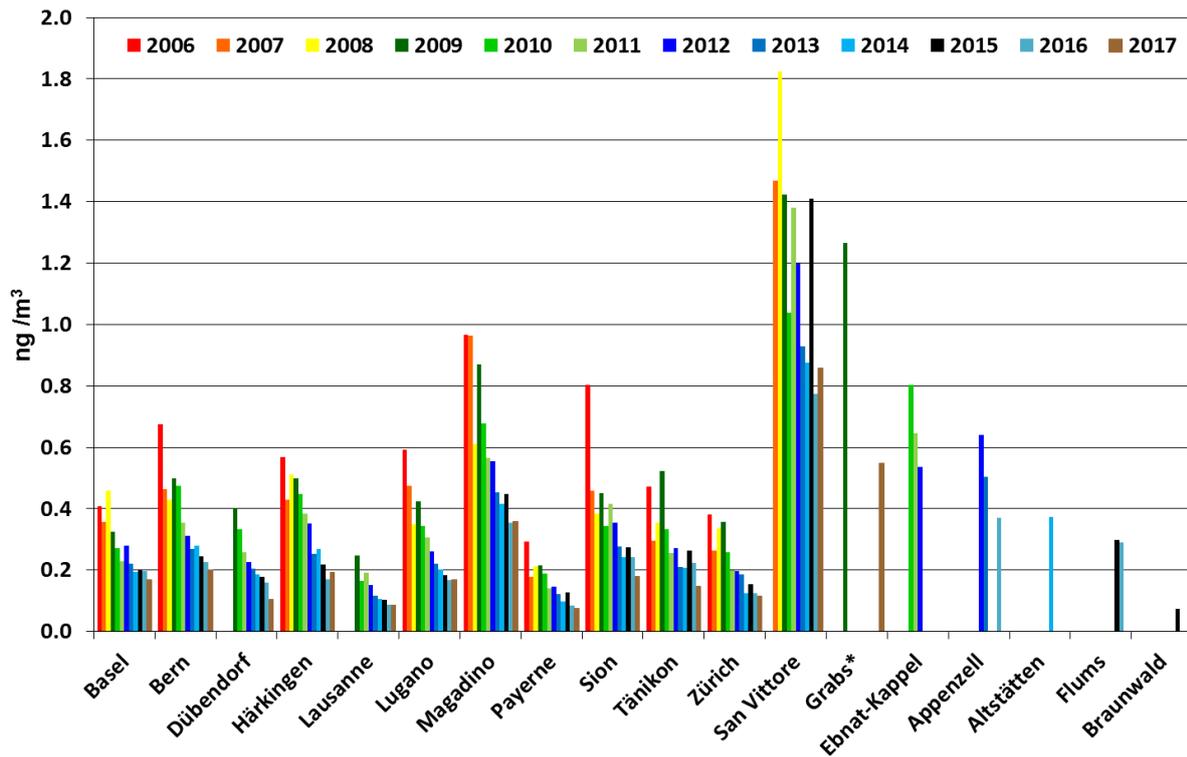


Abb. 7: Jahresmittelwerte 2006 bis 2017 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10. (Ebnat-Kappel 2010 + 2012, Flums 2015 und Grabs 2017 unvollständige Messreihe, siehe Tab. 2). (*Gewichtete Messwerte bei Grabs, da nur Proben vom zweitem bis viertem Quartal zur Verfügung standen).

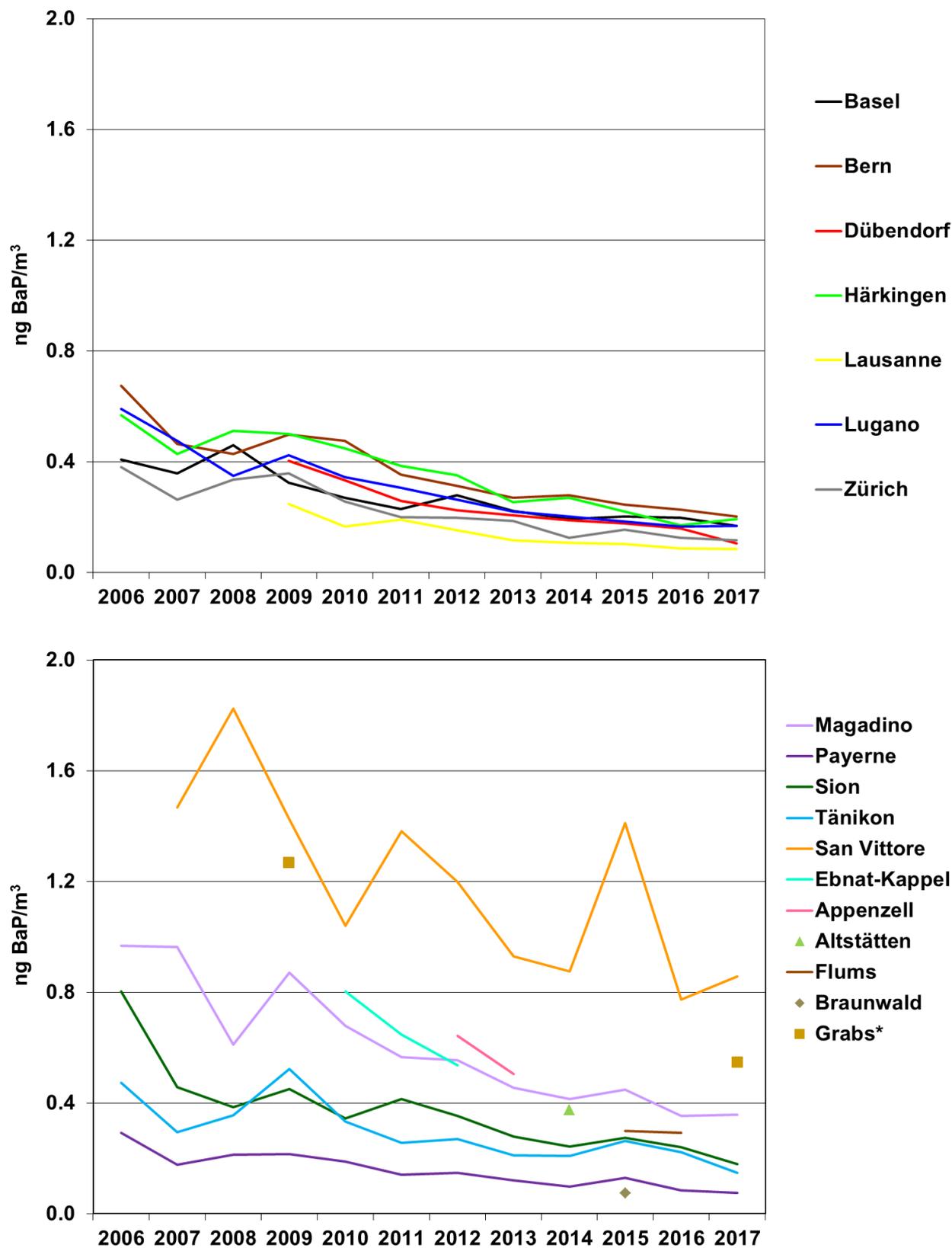


Abb. 8: Jahresmittelwerte 2006 bis 2017 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10. Oben städtische, vorstädtische Stationen und Verkehrsstandorte, unten ländliche Standorte (Ebnat-Kappel 2010 + 2012, Flums 2015 und Grabs 2017 unvollständige Messreihe, siehe Tab. 2; *Gewichteter Messwert bei Grabs 2017).

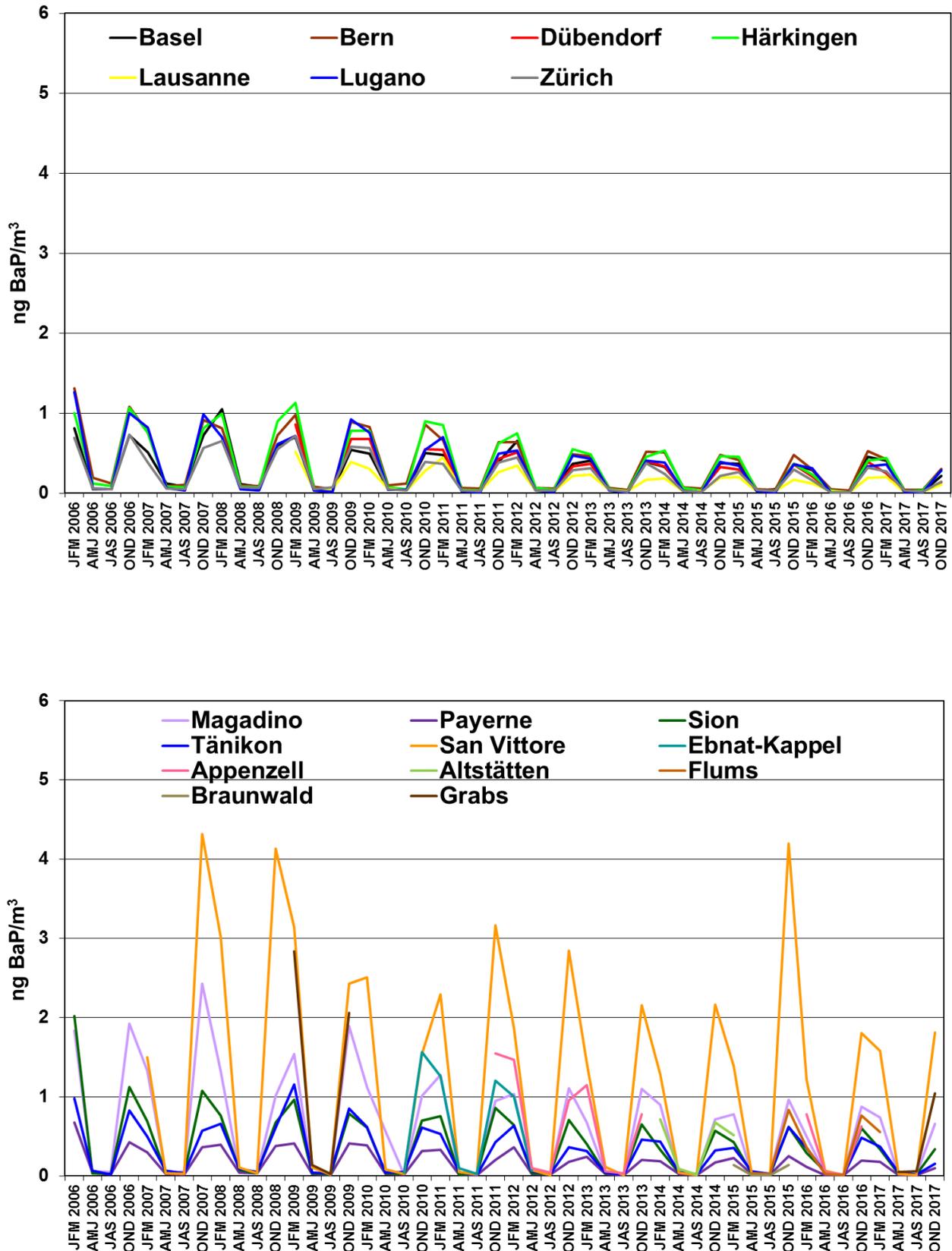


Abb. 9: Quartalswerte 2006 - 2017 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10. Oben städtische, vorstädtische Stationen und Verkehrsstandorte, unten ländliche Standorte.

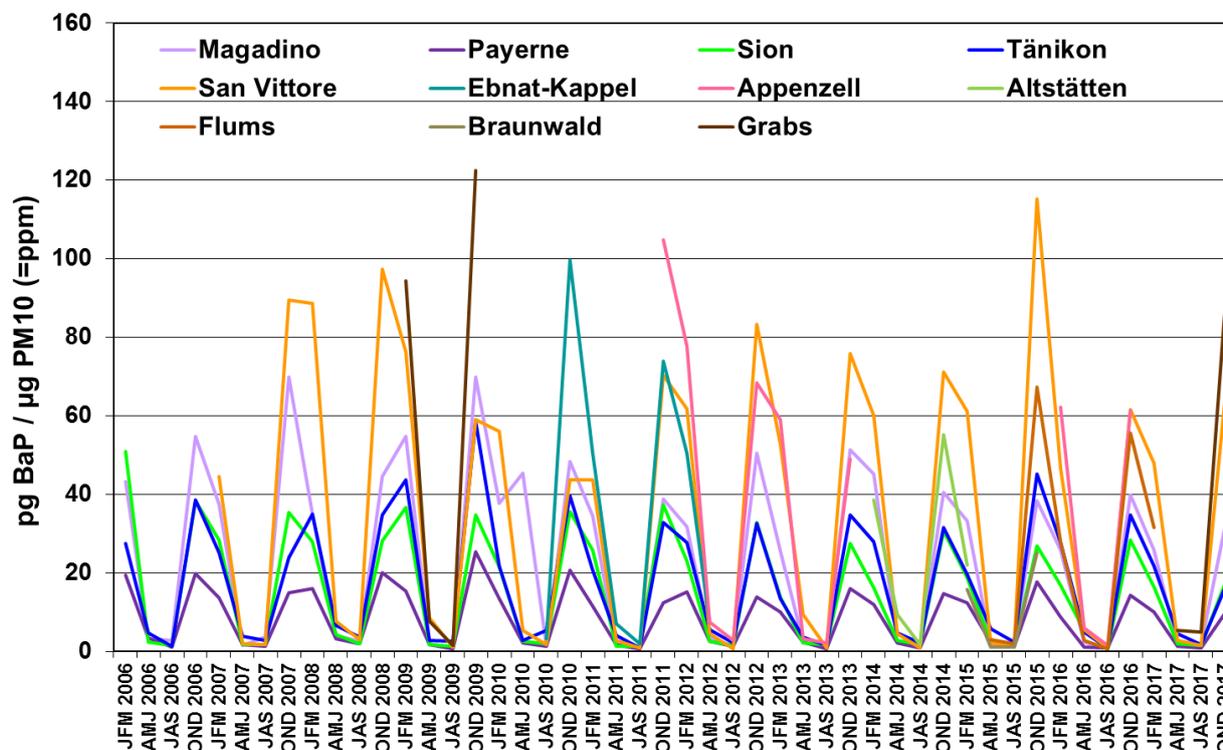
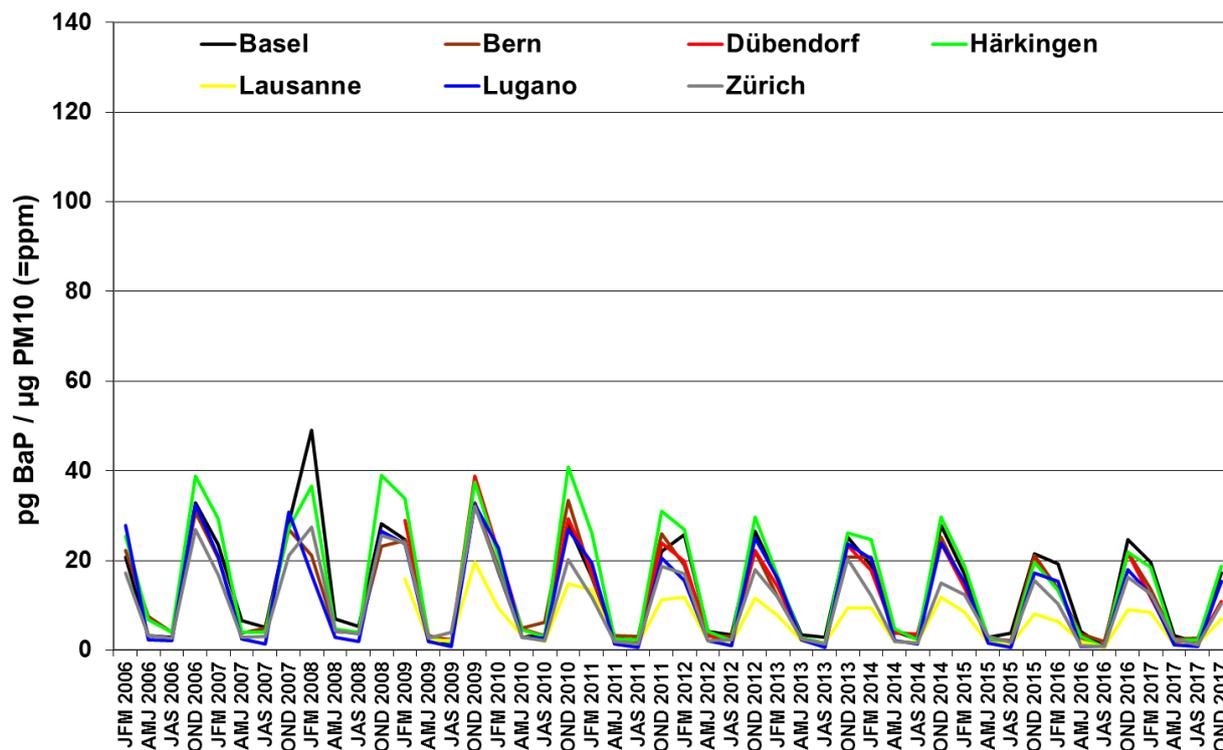


Abb. 10: Quartalswerte 2006-2017 der Gehalte von Benzo(a)pyren im PM10. Oben städtische, vorstädtische Stationen und Verkehrsstandorte, unten ländliche Standorte.

Abbildung 11 gibt einen kompakten und durch die Mittelung über die Messjahre 2006 – 2017 für die meisten Stationen bereits recht robusten Überblick über die sehr unterschiedlichen Belastungen der BaP-Konzentrationen im Sommer und im Winter. Die dunkel-rot und dunkel-blau dargestellten Mittelwerte zeigen die Mittelwerte über den gesamten Messzeitraum (einzig die Stationen San Vittore (2007), sowie Dübendorf-Empa und Lausanne-César-Roux (beide 2010) weisen einen späteren Messstart auf). Die hell-roten Sommerwerte und die entsprechenden hell-blauen Winterwerte zeigen Mittelwerte jener Stationen, die zwischen einem und 4.5 Jahren, während der Messjahre 2010 bis 2017, in Betrieb waren. Die Mittelwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum der jeweiligen Stationen liegen während der Sommermonate (April – September) im Bereich von 0.02 (Payerne) – 0.07 (Bern) und während der Wintermonate (Januar – März und Oktober – Dezember) zwischen 0.25 (Lausanne) und 2.35 ng BaP/m³ (San Vittore). Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Winter- und der Sommermonate über alle Messjahre entspricht einem Faktor zwischen 8.9 (Lausanne) und 55.25 (San Vittore).

Abbildung 12 zeigt die mittleren Gehalte an BaP im Feinstaub für die analoge Zeitperiode im Sommer und im Winter an den verschiedenen Standorten. Die dunkel-roten und dunkel-blauen Messwerte repräsentieren die Mittelwerte über die gesamte Messperiode von 2006 – 2017 (Ausnahme San Vittore 2007 – 2017), während die hellen Messwerte die Mittelwerte jener Stationen zeigen, die nur während einiger Zeit (siehe Tab. 2) in Betrieb waren.

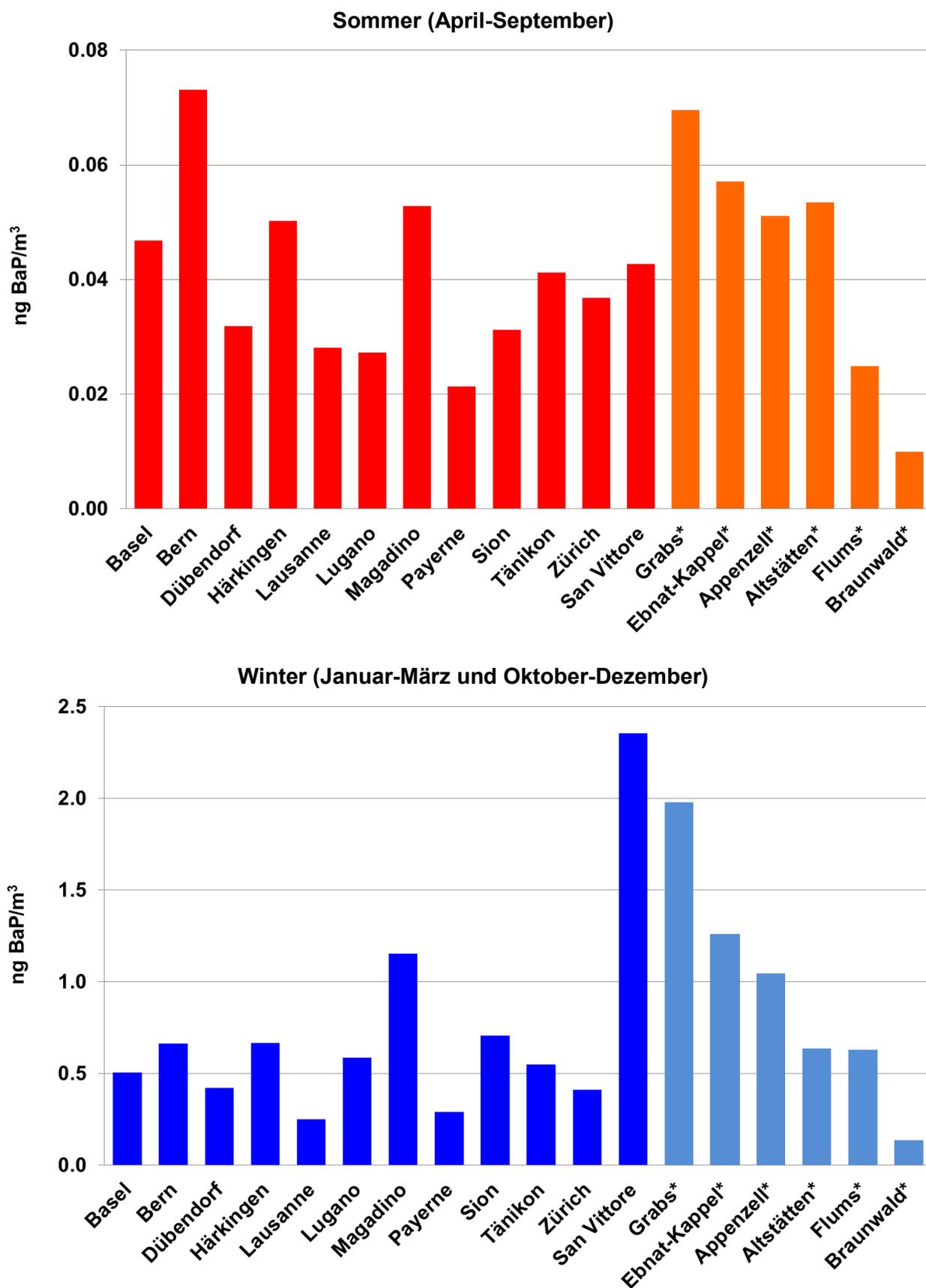


Abb. 11: Vergleich der mittleren Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10 im Sommer und im Winter von 2006-2017 (*soweit Messwerte vorhanden, siehe Tab. 2). Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Sommer- und Wintergrafiken.

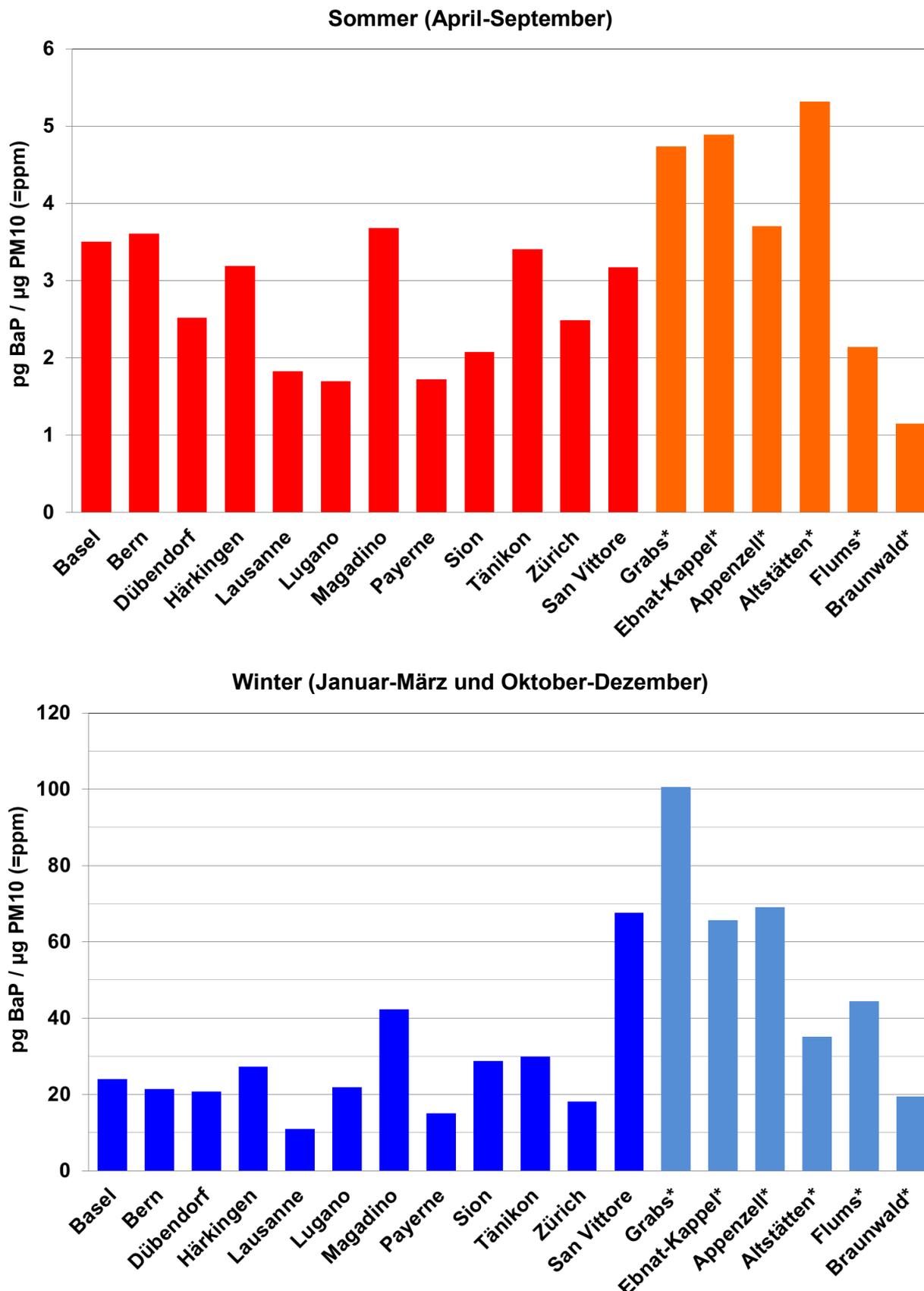


Abb. 12: Vergleich der Gehalte von Benzo(a)pyren im PM10 im Sommer und im Winter von 2006-2017 (*soweit Messwerte vorhanden, siehe Tabelle 2). Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Sommer- und Wintergrafiken.

6 Literaturverzeichnis

CEN (2008). Air Quality - Standard method for the measurement of the concentration of benzo(a)pyrene in ambient air. EN 15549.

Empa (2018). Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2018; Dübendorf, Switzerland;
<https://www.empa.ch/documents/56101/246436/Technischer+Bericht+2018/5bc59f95-7d4b-4a9a-a47b-82c95061b1e8>.

EPA (2010). Development Of A Relative Potency Factor (RPF) Approach For Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Mixtures (External Review Draft);
https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=194584).

ETC/ACM (2014). Mapping ambient concentrations of benzo(a)pyrene in Europe - Population exposure and health effects for 2012. ETC/ACM Technical Paper 2014/6, April 2015. European Topic Center on Air Pollution and Climate Change Mitigation;
https://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACM_TP_2014_6_BaP_HIA.

EU-Commission (2004). Directive 2004/107/EC of the European parliament and the council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Communities L 23, 26 January 2005: 3-16.

IARC (2010). Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. Lyon, International Agency for Research on Cancer (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 92;
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>)

IARC (2013). Air pollution and cancer. IARC scientific publication no 161.
<http://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>.

Krismer A. (2015). Benzo(a)Pyren und Hausbrand. Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz.
https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/luftqualitaet/downloads/sonstige_Berichte/Benzo_a_pyren_und_Hausbrand.pdf

Nisbet, I. C. T. and LaGoy, P. K. (1992). Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic-Hydrocarbons (PAHs). Regulatory Toxicology and Pharmacology 16(3): 290-300.

- Schauer, C., Niessner, R. and Poschl, U. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air particulate matter: Decadal and seasonal trends, chemical degradation, and sampling artifacts. *Environ. Sci. Technol.* 37(13): 2861-2868.
- Schläpfer, K. (1995). PAH-Immissionsmessungen in den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Luzern (1994/1995); Im Auftrag des Amtes für Technische Anlagen (ATAL) Zürich, des Kant. Laboratoriums für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz Schaffhausen und des Amtes für Umweltschutz Luzern.
- WHO Regional Office for Europe (2000). Air quality guidelines for Europe, 2nd edition, Copenhagen; (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf).
- Zotter, P., Ciobanu, V.G., Zhang, Y.L., El-Haddad, I., Macchia, M., Daellenbach, K.R., Salazar, G.A., Huang, R.-J., Wacker, L., Hueglin, C., Piazzalunga, A., Fermo, P., Schwikowski, M., Baltensperger, U., Szidat, S., and Prévôt, A.S.H. (2014). Radiocarbon analysis of elemental and organic carbon in Switzerland during winter-smog episodes from 2008 to 2012 - Part 1: Source apportionment and spatial variability. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 15591 - 15643. doi:10.5194/acpd-14-15591-2014.

Anhang

Tab. A1: Quartalsmittelwerte der PM10-Konzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und PAK-Konzentrationen (ng/m^3) des Jahres 2017 an NABEL-Stationen.

Messstelle	Quartal 2017	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)anthracen	Chrysen	Benzo(b+j)fluoranthen	Benzo(k)fluoranthen	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3,cd)pyren	Dibenzo(ah)anthracen	Benzo(ghi)perylen
Basel	JFM	20.8	0.40	0.41	0.27	0.42	0.99	0.29	0.41	0.51	0.06	0.55
	AMJ	11.1	0.07	0.07	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.07	0.01	0.07
	JAS	10.0	0.06	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.05
	OND	12.3	0.18	0.19	0.12	0.16	0.54	0.18	0.21	0.31	0.03	0.36
Bern	JFM	31.0	0.49	0.48	0.32	0.45	0.93	0.25	0.42	0.46	0.05	0.53
	AMJ	16.5	0.23	0.15	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.06	0.01	0.09
	JAS	16.1	0.25	0.14	0.04	0.07	0.12	0.04	0.04	0.06	0.01	0.10
	OND	19.7	0.31	0.29	0.21	0.32	0.67	0.21	0.30	0.33	0.04	0.42
Dübendorf	JFM	20.7	0.29	0.28	0.16	0.29	0.66	0.18	0.24	0.35	0.04	0.35
	AMJ	11.1	0.07	0.07	0.01	0.03	0.07	0.02	0.02	0.04	0.00	0.04
	JAS	10.7	0.07	0.05	0.01	0.02	0.07	0.02	0.02	0.04	0.00	0.05
	OND	12.7	0.14	0.14	0.08	0.12	0.37	0.13	0.14	0.21	0.02	0.23
Härkingen	JFM	23.5	0.43	0.42	0.30	0.50	1.07	0.30	0.44	0.56	0.06	0.58
	AMJ	11.8	0.11	0.09	0.02	0.05	0.09	0.02	0.03	0.05	0.01	0.05
	JAS	12.2	0.15	0.10	0.03	0.05	0.09	0.02	0.03	0.05	0.01	0.06
	OND	15.1	0.24	0.25	0.18	0.26	0.65	0.19	0.28	0.35	0.04	0.39
Lausanne	JFM	23.4	0.27	0.27	0.15	0.26	0.51	0.15	0.20	0.26	0.03	0.31
	AMJ	14.2	0.12	0.10	0.03	0.05	0.07	0.02	0.02	0.03	0.00	0.05
	JAS	13.5	0.13	0.10	0.03	0.05	0.07	0.02	0.02	0.03	0.00	0.06
	OND	14.8	0.16	0.15	0.08	0.12	0.28	0.08	0.10	0.15	0.02	0.18
Lugano	JFM	29.4	0.30	0.31	0.23	0.38	0.90	0.24	0.36	0.45	0.05	0.45
	AMJ	12.5	0.05	0.05	0.01	0.02	0.06	0.01	0.01	0.03	0.00	0.04
	JAS	11.9	0.06	0.04	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03
	OND	18.8	0.19	0.19	0.17	0.27	0.67	0.19	0.29	0.35	0.04	0.38
Magadino	JFM	28.6	0.40	0.54	0.50	0.97	1.59	0.43	0.74	0.72	0.14	0.91
	AMJ	12.3	0.05	0.05	0.01	0.04	0.08	0.01	0.02	0.03	0.02	0.06
	JAS	12.0	0.04	0.03	0.01	0.03	0.08	0.02	0.02	0.04	0.02	0.08
	OND	21.0	0.28	0.34	0.50	1.04	1.79	0.41	0.66	0.64	0.26	0.85
Payerne	JFM	17.8	0.25	0.25	0.11	0.19	0.55	0.14	0.18	0.29	0.03	0.30
	AMJ	9.6	0.05	0.05	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03
	JAS	9.4	0.05	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02
	OND	10.4	0.13	0.13	0.05	0.09	0.29	0.09	0.10	0.17	0.02	0.19
Sion	JFM	20.3	0.30	0.34	0.26	0.37	0.72	0.22	0.34	0.36	0.04	0.46
	AMJ	12.7	0.10	0.09	0.02	0.05	0.09	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07
	JAS	12.7	0.08	0.06	0.01	0.03	0.07	0.02	0.02	0.03	0.00	0.06
	OND	19.7	0.26	0.29	0.24	0.32	0.73	0.22	0.34	0.39	0.05	0.49
Tänikon	JFM	17.2	0.45	0.47	0.26	0.37	0.97	0.27	0.37	0.50	0.06	0.49
	AMJ	9.4	0.07	0.09	0.03	0.04	0.12	0.03	0.04	0.07	0.01	0.07
	JAS	9.1	0.05	0.04	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	0.03	0.00	0.04
	OND	9.7	0.18	0.20	0.09	0.15	0.43	0.12	0.16	0.23	0.03	0.24
Zürich	JFM	21.8	0.42	0.40	0.18	0.32	0.77	0.20	0.27	0.39	0.04	0.40
	AMJ	12.1	0.07	0.07	0.03	0.06	0.12	0.05	0.03	0.07	0.04	0.08
	JAS	11.8	0.07	0.05	0.01	0.03	0.07	0.02	0.01	0.04	0.00	0.05
	OND	13.7	0.15	0.14	0.09	0.14	0.40	0.12	0.14	0.23	0.03	0.26

Tab. A2: Quartalsmittelwerte der PM10-Konzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und PAK-Konzentrationen (ng/m^3) des Jahres 2017 an den kantonalen Stationen.

Messstelle	Quartal 2017	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)anthracen	Chrysen	Benzo(b+j)fluoranthen	Benzo(k)fluoranthen	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3,cd)pyren	Dibenzo(ah)anthracen	Benzo(ghi)perylene
San Vittore	JFM	32.9	0.89	0.98	1.17	1.26	2.65	0.75	1.58	1.37	0.19	1.36
	AMJ	8.7	0.05	0.05	0.02	0.03	0.08	0.02	0.02	0.04	0.01	0.05
	JAS	8.4	0.04	0.03	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03	0.00	0.03
	OND	28.5	0.78	0.88	0.87	1.06	2.65	0.78	1.81	1.35	0.25	1.56
Grabs	JFM	9.0	0.10	0.11	0.03	0.04	0.13	0.03	0.05	0.07	0.01	0.08
	AMJ	11.8	0.08	0.09	0.03	0.04	0.15	0.04	0.06	0.09	0.01	0.10
	JAS	11.8	0.08	0.09	0.03	0.04	0.15	0.04	0.06	0.09	0.01	0.10
	OND	12.1	0.79	0.96	0.65	0.73	1.89	0.60	1.04	1.15	0.13	1.17
Flums	JFM	17.5	0.69	0.71	0.33	0.42	1.14	0.33	0.55	0.66	0.07	0.70
	AMJ											
	JAS											
	OND											

*Bemerkung: Um einen korrekten Vergleich der PAK-Konzentrationen mit den PM10-Konzentrationen zu gewährleisten, bzw. um die korrekten PAK Gehalte zu bestimmen, wurden für die Berechnungen der PM10-Quartalswerte nur die Tageswerte jener Tage verwendet die in die Bestimmung der PAK-Konzentrationen einfließen.