



# Messbericht Muotathal Feinstaub und PAK

## Vergleich der Feinstaubuntersuchungen in Muotathal zwischen den Messkampagnen 2009, 2011, 2018 und 2025

### Autorenschaft

Dr. Nadine Engbersen

Joëlle Rieder

### Im Auftrag von



innetag.ch



## Zusammenfassung

Untersuchungen in den Jahren 2009 und 2011 haben gezeigt, dass die Luftqualität in Muotathal in den Wintermonaten deutlich durch PAK (polyzyklisch aromatische Kohlenwasserstoffe) belastet ist. Im Anschluss an diese Messungen wurden verschiedene Massnahmen eingeführt, um die Luftbelastung zu senken. Im ersten Quartal des Jahres 2018 fand die Erfolgskontrolle dieser Massnahmen statt.

Die Messungen von 2018 zeigten einen Rückgang der absoluten Konzentrationen von Feinstaub (PM10) und PAK. Ein Teil dieses Rückgangs war jedoch meteorologisch bedingt. Während die absolute Konzentration von PAK im Jahr 2018 niedriger war als in 2009 und 2011, war der prozentuale Anteil der PAK an PM10 im Vergleich zum Jahr 2011 nicht reduziert. Dies liess darauf schliessen, dass sich vor allem die allgemeine Feinstaubbelastung verbessert hatte, der Anteil an PAK aber nicht zurückgegangen war. Somit konnten die eingeführten Massnahmen noch keinen Erfolg verzeichnen und wurden weitergeführt.

Im 1. Quartal 2025 wurden die Messungen wiederholt, um den Erfolg der eingeführten Massnahmen zu kontrollieren. Obwohl die PAK-Konzentrationen in Muotathal im Vergleich zu den Stationen des Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) noch immer hoch sind, haben sie im Vergleich zu den vorhergehenden Messkampagnen weiter abgenommen. Erstmals konnte im Jahr 2025 auch nachgewiesen werden, dass der Anteil von PAK an PM10 abgenommen hat. Diese Resultate zeigen, dass die aufgelegten Massnahmen erste Verbesserungen in der Luftqualität bezüglich PAK in Muotathal brachten.

Der Zielwert des kanzerogenen PAK Benzo(a)pyren (BaP) lag aber nach wie vor im Mittel aller drei Monate des 1. Quartals 2025 über dem Jahresmittel-Zielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$ .

Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass die getroffenen Massnahmen erste Verbesserungen erzielten, aber die Luftqualität weitere Verbesserung braucht, um die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung auf ein Minimum zu reduzieren. Es wird empfohlen, die bestehenden Massnahmen weiterzuführen und die Emissionen von Gross- und Kleinfeuerungsanlagen weiterhin regelmässig zu kontrollieren. Des Weiteren wird empfohlen, die Messkampagne in der Zukunft zu wiederholen, bis das Monatsmittel von BaP des 1. Quartals den Zielwert der EU unterschreitet.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Messkonzept .....</b>	<b>3</b>
2.1.	In-luft Referenzstation Schwyz .....	5
2.2.	NABEL.....	5
<b>3.</b>	<b>Resultate und Diskussion .....</b>	<b>5</b>
3.1.	Meteorologische Parameter .....	5
3.2.	Feinstaub PM10 .....	9
3.3.	PAK und EC .....	11
3.3.1.	Vergleich PAK Muotathal mit NABEL Stationen .....	13
<b>4.</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>16</b>

## 1. Einleitung

Polyzyklisch aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Gruppe von chemischen Verbindungen, die aus mindestens zwei miteinander verbundenen Benzolringen bestehen. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien wie Holz, Kohle, Tabak, Heiz- oder Dieselöl oder auch Lebensmitteln sowie beim Verkehr. Sie sind an Russpartikel gebunden und gelangen als Teil des Feinstaubes in die Umgebungsluft.<sup>1</sup>

PAK sind durch ihren chemischen Aufbau sehr reaktiv und können leicht mit DNA-Molekülen reagieren, was zu Erbgutveränderungen und schlussendlich zu Krebs führen kann.<sup>1</sup> Aufgrund ihrer kanzerogenen Gefahr für die menschliche Gesundheit hat die Europäische Union einen Jahresmittel-Zielwert für das krebserregende PAK Benzo(a)pyren (BaP) im atmosphärischen Feinstaub (PM10) von 1 ng/m<sup>3</sup> festgelegt.<sup>2</sup> In der Schweiz gibt es für krebserregende Luftschadstoffe keine Immissionsgrenzwerte, es gilt für deren Emissionen ein Minimierungsgebot.<sup>3</sup>

Da BaP die höchste Toxizität aufweist und nachweislich krebserregend ist, wird dieses oft als Leitsubstanz für die Belastung durch PAK betrachtet. Nebst BaP als Leitsubstanz hat die amerikanische Umweltbehörde (EPA) 16 PAKs in der EPA-Liste als prioritäre Umweltschadstoffe eingestuft. Diese 16 PAKs werden heute häufig stellvertretend für die gesamte Gruppe der PAK in Umweltproben untersucht.

Seit Beginn der europäischen Messungen von PAK in der Umgebungsluft sind die Emissionen rückläufig.<sup>4</sup> Wurden im Jahr 2021 noch an 27 % der Messstationen (total: 794) eine Überschreitung des Zielwerts von 1 ng/m<sup>3</sup> gemessen, waren es 2023 nur noch 18 % der Messstationen (total: 776).<sup>4</sup> In der Schweiz hat die BaP Belastung an fast allen untersuchten Standorten des Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) seit Messbeginn im Jahr 2006 abgenommen,<sup>5</sup> einzig bei ländlichen Stationen im Süden der Schweiz wurde eine Zunahme verzeichnet.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Bundesamt für Gesundheit (BAG), *Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)* (2020), <https://backend.bag.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-bagadminch-files/files/2025/03/18/51e59e13-bddf-4443-bef7-fa6cb7a68a84.pdf>.

<sup>2</sup> EU-Commission, *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 (2005), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32004L0107>.

<sup>3</sup> Luftreinhalte-Verordnung, 814.318.142.1(1986). [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208\\_208\\_208/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/de).

<sup>4</sup> Targa, J. u. a., *Status report of air quality in Europe for year 2023, using validated data (ETC HE Report 2025/2)* (2025), <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2025-2-status-report-of-air-quality-in-europe-for-year-2023-using-validated-data>.

<sup>5</sup> Fischer, A. und Hüglin, C., *Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone. Messbericht 2022*, (EMPA, 2023), [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-im-pm10-an-ausgewaehlten-stationen-des-nabel-sowie-der-kantone-messbericht-2022.pdf.download.pdf/PAK\\_Bericht\\_2022.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-im-pm10-an-ausgewaehlten-stationen-des-nabel-sowie-der-kantone-messbericht-2022.pdf.download.pdf/PAK_Bericht_2022.pdf).

<sup>6</sup> Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, *Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung* (Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, 2023), [https://www.ekl.admin.ch/inhalte/dateien/pdf/EKL-231120\\_de\\_orig.pdf](https://www.ekl.admin.ch/inhalte/dateien/pdf/EKL-231120_de_orig.pdf).

Dass die Luftbelastung durch PAK in ländlichen (Berg-)Gebieten höher ist als in verkehrsbelasteten, urbanen Gegenden, zeigen auch andere Studien.<sup>7 8 9</sup> Dies liegt einerseits an der intensiveren Nutzung von Holzheizungen und andererseits an Inversionslagen, welche durch die Topografie der Alpentäler zusätzlich begünstigt werden. Da diese beiden Vorgänge simultan während der Wintermonate auftreten, werden die Emissionen aus den Holzheizungen in den bodennahen Luftschichten aufkonzentriert und stellen somit eine erhöhte Luftbelastung für die Bevölkerung dar.

In Muotathal wurden aus diesem Grund in den Jahren 2009, 2011<sup>10</sup> und 2018<sup>11</sup> während der Monate Januar – März Messkampagnen durchgeführt. Diese mehrjährige Messreihe dient einerseits der Überwachung der Luftbelastung mit PAK und PM10, andererseits auch der Überprüfung der Massnahmen zur Verringerung der PAK-Emissionen in Muotathal, welche ab dem Jahr 2011 in Kraft traten. Im Bericht des Jahres 2018 konnte festgestellt werden, dass die absoluten Konzentrationswerte von PAK und BaP zurückgegangen sind im Vergleich zu den Vorjahren. Jedoch gingen die PM10-Konzentrationen in ähnlicher Grössenordnung zurück, was vermuten liess, dass der Rückgang der PAK-Konzentrationen nicht auf einen Erfolg der eingeführten Massnahmen zurückzuführen war, sondern eher auf die schweizweite Verbesserung der Luftqualität.<sup>12</sup> Im Jahr 2025 wurde die Messkampagne in Muotathal deshalb erneut durchgeführt und die Ergebnisse werden in diesem Bericht vorgestellt.

## 2. Messkonzept

Das Messkonzept orientiert sich an demjenigen aus dem Jahr 2018 und wird hier daher nur kurz vorgestellt.

Gemessen wurden die in Tabelle 1 dargestellten Messgrössen an den Standorten in Abbildung 1 während der Zeitperiode vom 1. Januar 2025 bis 31. März 2025. Da die Analysen von elementarem (EC) und organischem Kohlenstoff (OC) im Jahr 2025 erstmals durchgeführt wurden, werden diese im Anschluss kurz beschrieben.

Für die Analysen von EC und OC wurden Quarzfaserfilter für das HVS verwendet. EC wird mittels einer thermisch-optischen Methode gemessen, bei der die Quarzfaserfilter stufenweise erhitzt werden, wodurch die Quantifizierung von elementarem Kohlenstoff ermöglicht wird. Bei der Erhitzung wird zuerst

<sup>7</sup> Zotter, P. u. a., *Radiocarbon analysis of elemental and organic carbon in Switzerland during winter-smog episodes from 2008 to 2012 - Part 1: Source apportionment and spatial variability.*, 14, Atmos. Chem. Phys. Discuss., (2014), 15591–643, doi:10.5194/acpd-14-15591-2014.

<sup>8</sup> Thudium, J., *Der „Alpenfaktor“: Höhere Immissionen pro Emissionseinheit in Alpentälern. Betrachtung von 2004 – 2012* (Bundesamt für Umwelt, 2013).

<sup>9</sup> Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, *Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung.*

<sup>10</sup> Bieri, S. und Ruckstuhl, C., *Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im atmosphärischen Feinstaub (PM10), Feinstaubuntersuchung im Muotathal (Messkampagne 2011)* (inNET Monitoring AG, 2012).

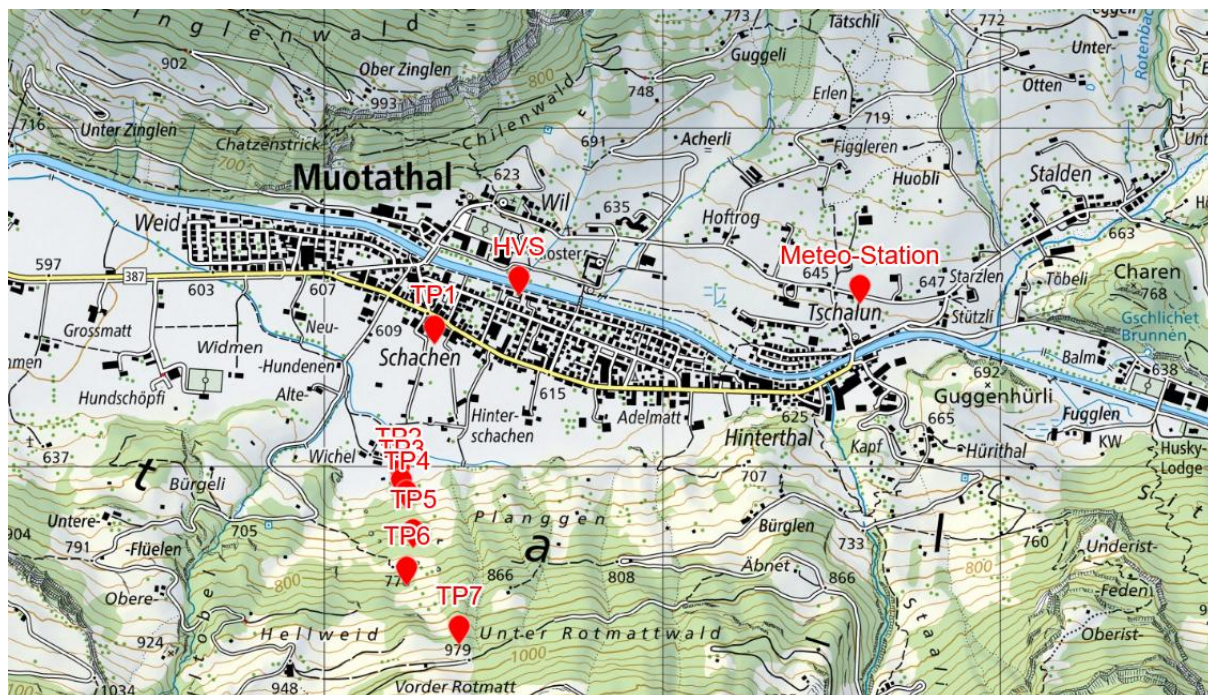
<sup>11</sup> Minder, N. u. a., *PAK im atmosphärischen Feinstaub. Vergleich der Feinstaubuntersuchungen im Muotathal zwischen den Messkampagnen 2009, 2011 und 2018.* (inNET Monitoring AG, 2018).

<sup>12</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU, „Messdaten des MfM-U“, Messdaten des MfM-U, 24. April 2025, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/mobilitaet/monitoring-flankierende-massnahmen-umwelt-mfm-u/messdaten-des-mfm-u.html>.

der organische und dann der elementare Kohlenstoff verbrannt. EC ist dabei der Anteil am Kohlenstoff, der aus Verbrennungsprozessen entsteht. Da Russ keine chemisch eindeutig definierte Grösse ist, wird die Russbelastung hier über die Konzentration von EC angegeben.

**Tabelle 1:** Gemessene Parameter im Jahr 2025 am Standort Muotathal.

Messgrösse	Messinstrument	Zeitliche Auflösung
Feinstaub PM10	Digitel High-Volume-Sampler (HVS) mit gravimetrischer Analyse der Quarzfaserfilter	Tagesmittel
PAK	Filteranalyse (16 PAK gemäss EPA-Liste)	Wochenmittel
EC / OC (Russ)	Filteranalyse	Jeden 4. Tag
Temperatur	meteolabor Thygan, 2m Höhe	10min
Windgeschwindigkeit & -richtung	Lufft WS-200, 9m Höhe	10min
Niederschlag	HyQuest TB3	10min
Temperaturprofil	LoRa Temperatursensoren an 7 Standorten	10min



**Abbildung 1:** Standorte an denen Messungen durchgeführt wurden im Jahr 2025 am Standort Muotathal. TP1-7: Die 7 Messpunkte des Temperaturprofils. HVS: Messpunkt für PM10, PAK und EC/OC. Meteo-Station: Messpunkt für Temperatur, Wind und Niederschlag.

## 2.1. In-luft Referenzstation Schwyz

Die Referenzstation in Schwyz dient dem Vergleich der PM10-Konzentrationen. Die Station wird von in-luft betrieben, dem Zusammenschluss der Lufthygienefachstellen der Zentralschweizer Kantone<sup>13</sup>. Die PM10-Konzentrationen werden an dieser Station mit einem kontinuierlichen Feinstaubmessgerät erfasst und jeden 4. Tag mit gravimetrischen Messungen korrigiert. Da diese Korrektur erst nach Jahresende stattfindet, sind die hier präsentierten Russkonzentrationen noch unkorrigiert und können von späteren Publikationen abweichen.

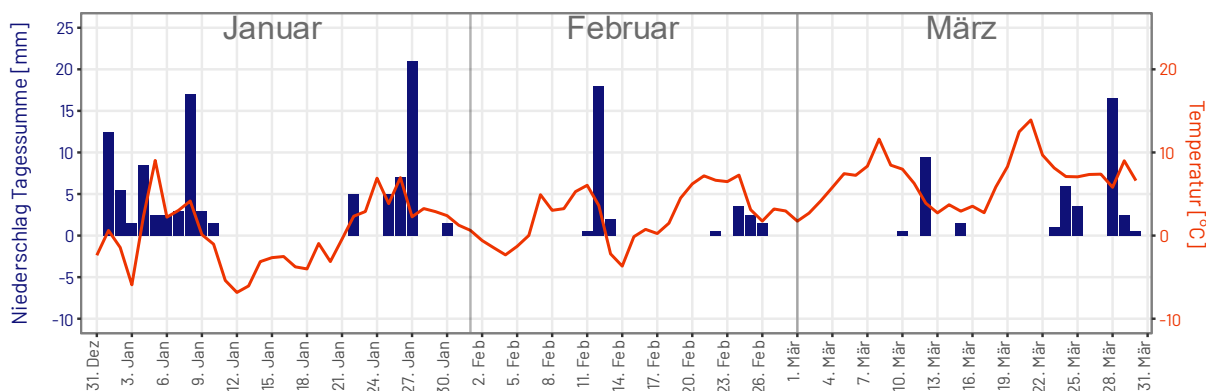
## 2.2. NABEL

Das NABEL und die EMPA verfassen alle 5 Jahre einen Bericht zur Auswertung der PAK und PM10 an den NABEL sowie einigen ausgewählten kantonalen Stationen. Der letzte Bericht stammt aus 2022.<sup>14</sup> Bei der Analyse des NABEL werden nur die 10 relevantesten PAK erfasst. Im hier vorgestellten Bericht werden bei Vergleichen mit den NABEL Stationen jeweils die gleichen 10 PAK verglichen.

# 3. Resultate und Diskussion

## 3.1. Meteorologische Parameter

Bei der Interpretation von Immissionsmessdaten spielt die Meteorologie eine entscheidende Rolle. So zum Beispiel sorgen im Sommer Tal- und Bergwinde für eine Vermischung der Luftmassen, während diese im Winter durch Inversionslagen unterbunden wird. Eine Inversionslage verhindert den Austausch mit höheren Luftschichten, worauf sich Luftschadstoffe wie Feinstaub oder Stickoxide in Bodennähe anreichern und hohe Konzentrationen erreichen können.

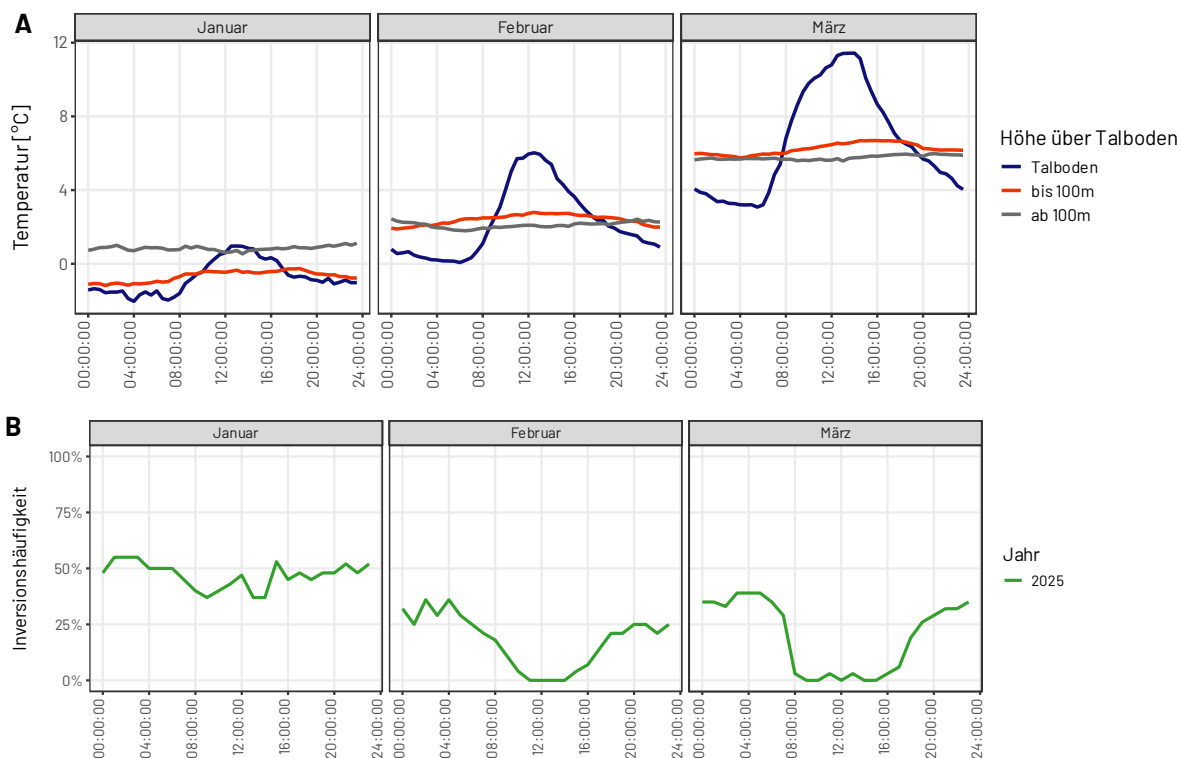


**Abbildung 2:** Niederschlag (linke Achse, in blau) als Tagessumme und durchschnittliche Tagestemperatur (rechte Achse, in rot) in Muotathal während der Messkampagne 2025.

<sup>13</sup> www.in-luft.ch

<sup>14</sup> Fischer, A. und Hüglin, C., Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone. Messbericht 2022.

Das erste Quartal des Jahres 2025 war mild, vor allem der Februar war – mit landesweit knapp 2 °C über der Norm von 1991-2020 – ungewöhnlich warm.<sup>15</sup> Niederschlag fiel vor allem im Januar, im Februar und März eher weniger (Abbildung 2). Der Januar war gekennzeichnet durch zwei Wärmewellen, unterbrochen von einem Kälteeinbruch Mitte Monat. Viele Regionen auf der Alpennordseite blieben unter dem Hochnebel, der sich nur zwischen 11. und 14. Januar verbreitet auflöste.<sup>16</sup> Der Hochnebel setzte sich auch im sehr milden Februar fort.<sup>17</sup> Der März war sehr mild und verbreitet sonnig, der Hochnebel löste sich vermehrt auf.<sup>18</sup> Am 21. März brachte eine Warmluftströmung Saharastaub in die Schweiz und sorgte für eine merkliche Trübung der Atmosphäre.



**Abbildung 3: A)** Gemittelter täglicher Temperaturverlauf in Muotathal für die drei Monate des 1. Quartals 2025. Die Höhenangabe «bis 100m» bezeichnet alle Messpunkte des Temperaturprofils, die weniger als 100m über dem Talboden liegen (MP1 – MP4). Die Höhenangabe «ab 100m» umfasst alle Messpunkte des Temperaturprofils, die mehr als 100m über dem Talboden liegen (MP5, MP6 und MP7). **B)** Inversionshäufigkeit in Muotathal für die drei Monate des 1. Quartals 2025.

Inversionslagen entstehen vor allem in den Wintermonaten, wenn die Sonneneinstrahlung schwach ist und die untersten Luftschichten nur wenig erwärmt werden. Entsteht dann noch eine Nebelschicht über der Inversionsschicht, bleiben die untersten Schicht von der Sonne unberührt und es bilden sich Kaltluft-

<sup>15</sup> MeteoSchweiz, Klimabulletin Winter 2024/25 (2025).

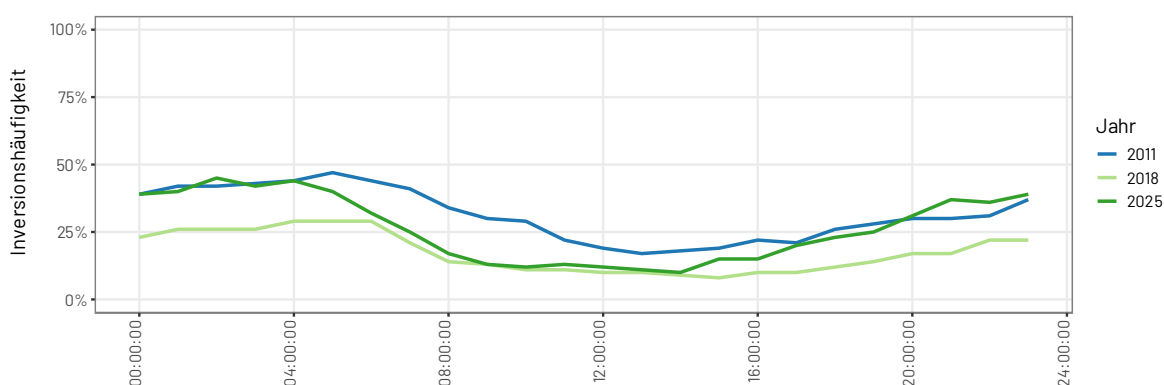
<sup>16</sup> MeteoSchweiz, Klimabulletin Januar 2025 (2025).

<sup>17</sup> MeteoSchweiz, Klimabulletin Februar 2025 (2025).

<sup>18</sup> MeteoSchweiz, Klimabulletin März 2025 (2025).

seen. In Tälern entstehen sogenannte «Talinversionen», bei denen in klaren Nächten die bodennahen Luftmassen stark auskühlen und zusätzlich die ausgekühlte Luft an den Berghängen hinunterströmt und sich auf dem Talboden zu einem Kaltluftsee sammelt. Die Auflösung dieser Inversionsschichten erfolgt erst tagsüber mit genügend Sonneneinstrahlung. In besonders engen Tälern, wie z.B. dem Muotatal, ist die Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten gering und erreicht den Talboden erst später am Tag. Dadurch können Inversionslagen oft tagelang bestehen.

In Abbildung 3A sind typische Inversionslagen in Muotathal zu erkennen, die sich im Verlaufe des Tages auflösen. Die Temperatur am Talboden (blau) erwärmt sich im Januar nur langsam und bleibt bis zum Mittag kälter als die Luftschichten mehr als 100m über dem Talboden (grau). Somit bleibt die Inversion im Januar ganztags bestehen (Abbildung 3B). Im Februar löst sich die Inversion deutlich früher (ca. 9:00) auf und bildet sich erst am Nachmittag wieder. Im März besteht die Inversion mehrheitlich während der Nacht (Abbildung 3B). Aus Abbildung 3A ist auch zu erkennen, dass sich Höheninversionen nur im Januar und Februar bilden. Eine Höheninversion findet nicht über dem Talboden statt, sondern weiter oben. Dank dem Temperaturprofil kann erkannt werden, dass im Januar die Temperaturen in Luftschichten mehr als 100 m über dem Talboden (grau) wärmer sind als jene von weniger als 100 m über dem Talboden (rot). Diese Höheninversion besteht im Januar ganztägig, im Februar nur noch Nachts und im März ist diese gar nicht mehr sichtbar.

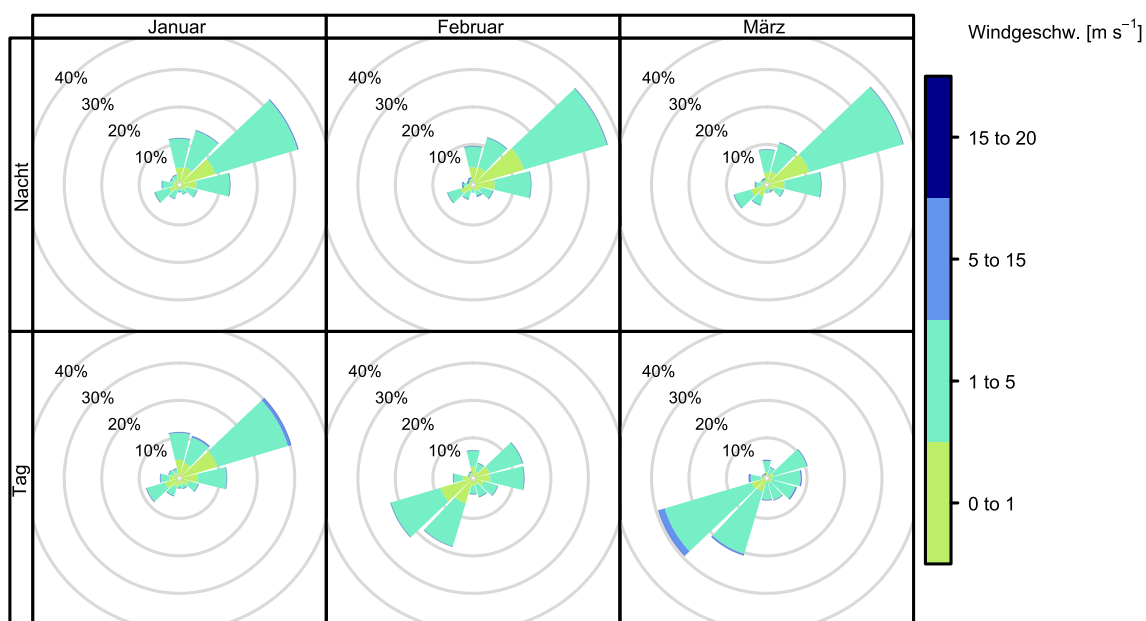


**Abbildung 4:** Inversionshäufigkeit in Muotathal in den Jahren 2011, 2018 und 2025. Die Inversionshäufigkeit gibt an, wie häufig innerhalb einer Stunde eine Inversionslage vorliegt.

Die Inversionshäufigkeiten unterscheiden sich von Jahr zu Jahr. In den vorgehenden Messkampagnen von 2011 und 2018 gab es mehr, bzw. weniger Inversionen als im Jahr 2025 (Abbildung 4). Die Messkampagne im Jahr 2011 konnte am meisten Inversionen verzeichnen. Im Jahr 2018 kamen am wenigsten Inversionen vor (Tabelle 2, Abbildung 4). Im Vergleich zu den anderen Jahren war das Jahr 2018 im Mittel kühler und nasser.

**Tabelle 2:** Meteorologische Parameter aus den Jahren 2011, 2018 und 2025. Der Niederschlag entspricht der monatlichen Summe in mm. Die Temperatur entspricht der durchschnittlichen Monatstemperatur. Die Inversionshäufigkeit gibt an, an wie vielen Stunden im Monat eine Inversion vorhanden war.<sup>19</sup>

	2011			2018			2025		
	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär
Niederschlagssumme [mm]	47.6	57.6	50.4	262.2	65.2	142.4	97.0	28.5	41.5
Temperatur [°C]	-1.2	0.5	5.0	3.1	-2.2	3.1	0.1	2.3	6.5
Inversionshäufigkeit [%]	46.2	36.1	12.4	28.9	7.7	14.8	47.1	17.9	20.0



**Abbildung 5:** Windrosen am Standort Muotathal im Jahr 2025, unterteilt nach Monat und Tag - Nacht. Eine Windrose liest sich folgendermassen: Die Grösse des Kegels repräsentiert die Anzahl Messungen während einer vorherrschenden Windrichtung. Die farbliche Aufteilung des Kegels zeigt die Windgeschwindigkeit entsprechend der Legende an. Lesebeispiel: Im März wurden 30 % der Messungen vorgenommen, während der Wind tagsüber mehrheitlich mit einer Windgeschwindigkeit von 1-5 m/s aus Südwesten blies.

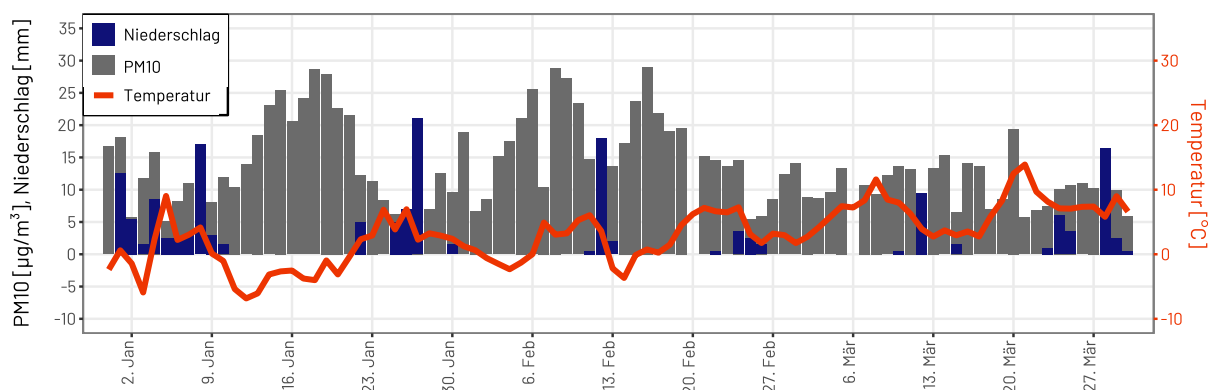
Nebst Niederschlag, Temperatur und Inversionslagen spielt auch das Windregime eine wichtige Rolle für die Konzentration von Luftschadstoffen. Aus Abbildung 5 lässt sich das Windregime in Muotathal ablesen. Nachts bläst der Wind vor allem aus Nordosten, mit Windgeschwindigkeiten bis zu 5  $\text{m/s}$ . Tagsüber ändert sich das Windregime mit der Zeit. Im Januar bläst der Wind auch tagsüber mehrheitlich aus Nordosten und erreicht Windgeschwindigkeiten von bis zu 15  $\text{m/s}$ . Im Februar ändert sich das Windregime und der Wind kommt unter anderem von Nordosten, aber mehrheitlich von Südwesten. Im März herrscht die

<sup>19</sup> Die Berechnung der Inversionen unterscheiden sich von früheren Berichten. Daher entsprechen die Zahlen in dieser Tabelle nicht den Häufigkeiten in den Berichten aus den Jahren 2011 und 2018.

südwestliche Windrichtung vor. Betrachtet man die Lage des Muotatals, so lässt sich aussagen, dass der Wind tagsüber im Januar mehrheitlich talabwärts und im März mehrheitlich talaufwärts bläst. Dies ist auf die erhöhte Sonneneinstrahlung im März zurückzuführen, bei welcher die Berghänge angestrahlt und somit erwärmt werden. Die warme Luft steigt auf und neue Luft rückt nach – es entsteht ein sogenannter «Talwind».<sup>20</sup>

### 3.2. Feinstaub PM10

Die Feinstaubkonzentrationen von PM10 in Muotathal lagen während der gesamten Messkampagne unter dem Tagesgrenzwert der LRV von 50 µg/m<sup>3</sup> (Abbildung 6). Der Zusammenhang zwischen Witterungsverhältnissen und Feinstaubkonzentrationen lässt sich aus Abbildung 6 ablesen. Während Niederschlägen (z. B. 1.1. – 9.1. oder 25.1. – 27.1.) sind die Feinstaubkonzentrationen niedriger als während trockenen Perioden. Dies liegt daran, dass Feinstaubpartikel mit dem Niederschlag aus der Luft ausgewaschen werden. Perioden mit niedrigeren Temperaturen (z. B. 9.1. – 20.1.) führen häufig zu höheren Feinstaubkonzentrationen. Dies kann zweierlei Gründe haben. Einerseits werden niedrige Temperaturen am Talboden oft von Inversionslagen begleitet. Dadurch sammeln sich die Feinstaubpartikel in Bodennähe an und können nicht mit höheren Luftschichten verdünnt werden. Im März ist dieser Effekt der Temperatur auf die Feinstaubkonzentrationen geringer, da im Frühling Inversionslagen weniger häufig sind und auch die bodennahen Luftschichten erwärmt werden. Andererseits führen kalte Temperaturen zu erhöhter Heizaktivität, was den Ausstoss von Feinstaubpartikeln erhöht. In Kombination mit einer Inversionslage kann es dann zu erhöhten Feinstaubbelastungen kommen.

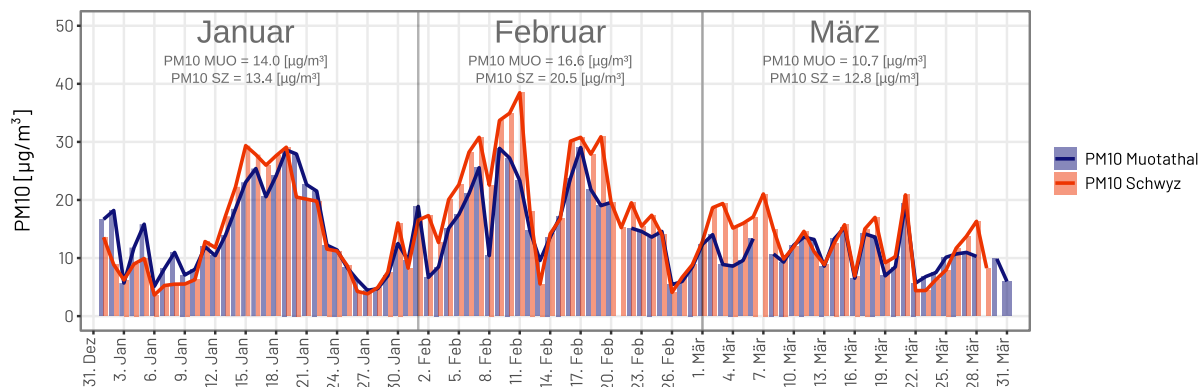


**Abbildung 6:** Tagesmittelwerte von PM10 (graue Balken), der täglichen Niederschlagssumme (blaue Balken) und des Temperaturverlaufs (rote Linie) in Muotathal.

Die Feinstaubkonzentration war im Jahr 2025 in Muotathal tendenziell niedriger als diejenige an der inluft Messstation in Schwyz (Abbildung 7). Einzig im Januar wurden an einigen Tagen höhere

<sup>20</sup> MeteoSchweiz, „Tal- und Bergwinde. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/wetter/wetter-und-klima-von-a-bis-z/tal-und-bergwinde.html>. Letzter Zugriff: 30.7.2025“, Tal- und Bergwinde, 2025, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/wetter/wetter-und-klima-von-a-bis-z/tal-und-bergwinde.html>.

Feinstaubkonzentrationen in Muotathal als in Schwyz gemessen. Somit lag auch das Monatsmittel von PM10 im Januar in Muotathal ( $14.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) höher als in Schwyz ( $13.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ein ähnliches Verhalten wurde auch im Jahre 2018 beobachtet<sup>21</sup> und es wurde vermutet, dass dies auf die lang anhaltenden Inversionslagen im Januar in Muotathal zurückzuführen ist. Da das Muotatal deutlich enger ist als der Schwyzer Talkessel, gelangt die Sonne im Januar nur kurz bis auf den Talboden, was eine Inversionslage begünstigt.

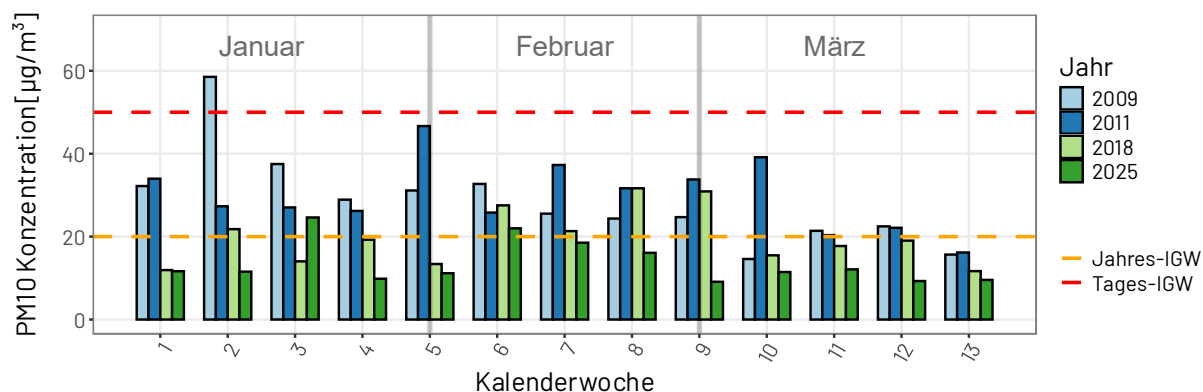


**Abbildung 7:** Zeitreihe der Tagesmittelwerte von PM10 in Muotathal (blau) und der in-luft Messstation in Schwyz (rot) während der gesamten Messperiode 2025. Die durchschnittlichen PM10-Konzentrationen pro Monat für jeden Standort (MUO = Muotathal, SZ = Schwyz) sind in grau unter der Monatsüberschrift angegeben.

Im Vergleich zu den Vorjahren haben die Feinstaubkonzentrationen kontinuierlich abgenommen (Abbildung 8, Tabelle 3). Während im Jahr 2009 in der zweiten Januarwoche Konzentrationen gemessen wurden, die den Tagesgrenzwert überstiegen, konnte im Jahr 2025 sogar mehrheitlich in jeder Woche der Jahreshgrenzwert eingehalten werden. Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  waren in der Messperiode des Jahres 2009 noch häufig (total = 11), im Jahr 2018 selten (total = 2) und im Jahr 2025 wurden keine mehr registriert (Tabelle 3). Die Abnahme der PM10-Konzentrationen liess sich schweizweit beobachten. Seit dem Jahr 2018 kam es an keiner Messstation entlang den Transitachsen der Schweiz zu Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes.<sup>22</sup> Die Absenkung der Feinstaubemissionen ist vor allem auf verbesserte Motorentechnologie und Abgasnachbehandlung zurückzuführen. Trotz der generellen Abnahme der Feinstaubkonzentration in der Schweiz wurden in einigen Wochen (z. B. KW3 oder KW6) im Jahr 2025 in Muotathal eher hohe PM10-Konzentrationen gemessen im Vergleich zu den Vorjahren. Dies ist auf die lokale Wetterlage zurückzuführen und zeigt, dass Inversionslagen einen grossen Einfluss auf die Schadstoffbelastung haben können.

<sup>21</sup> Minder, N. u. a., PAK im atmosphärischen Feinstaub. Vergleich der Feinstaubuntersuchungen im Muotathal zwischen den Messkampagnen 2009, 2011 und 2018.

<sup>22</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU, „Messdaten des MfM-U“.



**Abbildung 8:** Wochenmittelwerte von PM10 in Muotathal während den Messperioden 2009 (hellblau), 2011 (dunkelblau), 2018 (hellgrün) und 2025 (dunkelgrün). Die rot gestrichelte Linie entspricht dem Tagesgrenzwert, die orange gestrichelte Linie dem Jahresgrenzwert für PM10 gemäss LRV.

**Tabelle 3:** Zusammenfassung der PM10-Messungen aus den Jahren 2009, 2011, 2018 und 2025. Die Tabelle zeigt die durchschnittliche Monatskonzentration (PM10 Ø), die monatlichen Minima und Maxima von PM10 sowie die Anzahl Tage, an denen eine Überschreitung des Tagesgrenzwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> gemessen wurde (Anzahl d > GW).

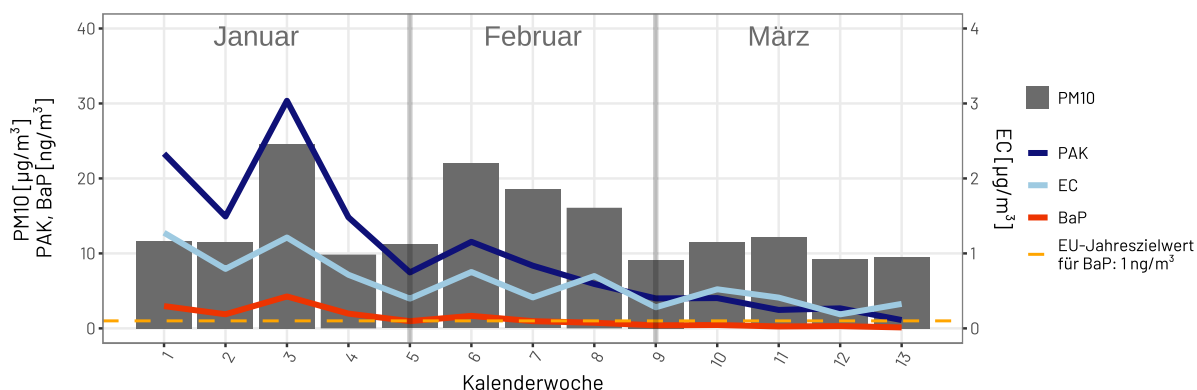
	2009			2011			2018			2025		
	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär
PM10 Ø [µg/m <sup>3</sup> ]	38.6	27.7	19.8	30.9	32.3	28.1	17.1	24.0	18.8	14.0	16.6	10.7
PM10 max. [µg/m <sup>3</sup> ]	73.3	64.0	36.9	57.2	46.5	61.0	33.3	49.9	63.1	28.6	29.0	19.4
PM10 min. [µg/m <sup>3</sup> ]	14.9	9.4	8.1	12.5	10.4	7.9	3.8	6.3	3.6	4.4	5.4	5.7
Anzahl d > GW	9	2	0	3	0	4	0	0	2	0	0	0

### 3.3. PAK und EC

Die PAK-Konzentrationen folgten im Q1 2025 den gemessenen PM10-Immissionen (Abbildung 9). Ein deutlicher Höchstwert von PAK und PM10 wurde in der 3. Kalenderwoche gemessen. Ausser einem kurzen Anstieg Anfang Februar sanken die PAK-Konzentrationen im Verlauf der Messperiode. Dieser relativ deutliche Zusammenhang zwischen dem Verlauf der PAK- und PM10-Konzentrationen konnte in den Vorjahren 2011 und 2018 nicht beobachtet werden.<sup>23</sup> Die Abnahme der PAK-Konzentrationen im Verlauf der Messperiode wurde jedoch auch schon in den Jahren 2011 und 2018 beobachtet. Auch die gemessenen BaP-Konzentrationen nehmen im Verlauf der Messperiode ab (Abbildung 9). Mit einem Quartalsdurchschnitt von 1.3 ng/m<sup>3</sup> liegen die BaP-Konzentrationen im Jahr 2025 erstmals im Bereich des EU-Jahreszielwerts von

<sup>23</sup> Minder, N. u. a., PAK im atmosphärischen Feinstaub. Vergleich der Feinstaubuntersuchungen im Muotathal zwischen den Messkampagnen 2009, 2011 und 2018.

1 ng/m<sup>3</sup> (Tabelle 4). In zwei von drei Monaten liegt das Monatsmittel von BaP unter dem EU-Jahreszielwert (Tabelle A 1 im Anhang).



**Abbildung 9:** Zeitreihe der Wochenmittelwerte für PM10 (graue Balken), PAK (dunkelblau), EC (hellblau), BaP (rot) sowie der EU-Jahreszielwert für BaP (orange) am Standort Muotathal für die gesamte Messperiode 2025. Es ist zu beachten, dass die PAK- und BaP-Konzentrationen in ng/m<sup>3</sup> angegeben sind, während PM10 und EC in µg/m<sup>3</sup> angegeben sind. Um den Konzentrationsverlauf von EC sichtbar zu machen, wird dieser auf einer kleineren Skala (rechte Achse) dargestellt.

Auch die Konzentration von Russ (EC) nimmt im Verlauf der Messperiode ab. Ähnlich wie PM10 und PAK zeigt sie erhöhte Werte in der 3. und 6. Kalenderwoche. Ansonsten sind die Verläufe aber nicht im gleichen Masse übereinstimmend, wie diejenigen von PM10 und PAK. In der Schweiz stammt Russ vor allem aus Holzheizungen und Verbrennungsmotoren. In den Wintermonaten ist der Anteil von beiden Quellen oft ausgeglichen, während im Sommer der Anteil der Verbrennungsmotoren deutlich überwiegt.<sup>24 25</sup> Der Anteil von PAK an Russ nimmt über die Messperiode hinweg ab (Abbildung A 1 im Anhang).

**Tabelle 4:** Mittelwerte des Q1 des jeweiligen Jahres für PAK (entspricht den 16 PAK) und BaP am Standort Muotathal. Das Verhältnis PAK/PM10 entspricht dem Anteil PAK in ng/m<sup>3</sup> an PM10 (in µg/m<sup>3</sup>).

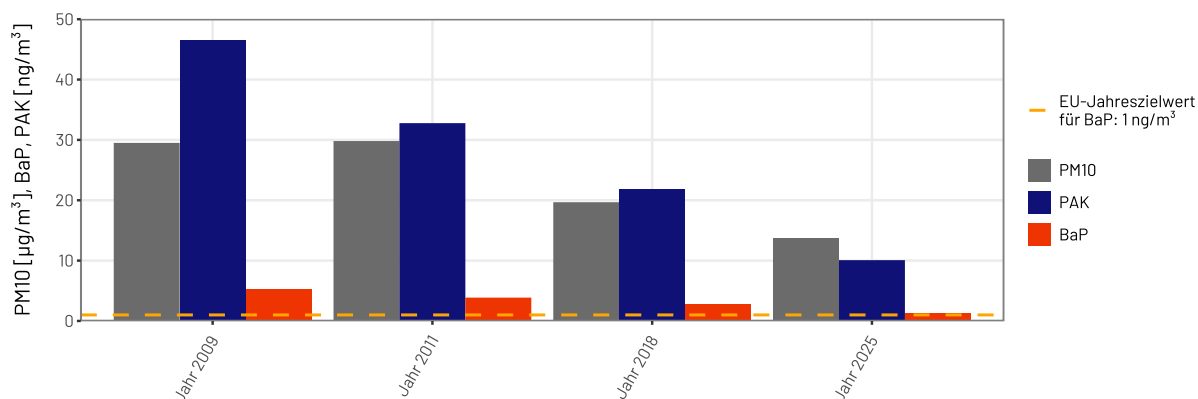
	2009	2011	2018	2025
PAK [ng/m <sup>3</sup> ]	46.4	32.8	21.8	10.1
BaP [ng/m <sup>3</sup> ]	5.2	3.9	2.8	1.3
Verhältnis PAK / PM10	1.4	1.1	1.2	0.7
Verhältnis BaP / PM10	0.15	0.13	0.15	0.09

Im Vergleich zu den vorherigen Messperioden nahmen die gemessenen Konzentrationen von PM10, PAK und BaP mit jeder Messperiode ab (Abbildung 10, Tabelle 4). Die Abnahme der PAK- und BaP-Konzentrationen wurden auch schon im letzten Messbericht festgestellt. Jedoch nahmen damals die

<sup>24</sup> Engbersen, N. und Wey, S., *Immissionsbericht Engelberg* (Umwelt Zentralschweiz, 2025).

<sup>25</sup> Wey, H. und Ruckstuhl, C., *Russbelastung in der Zentralschweiz* (inNET Monitoring AG, 2022).

Konzentrationen von PAK und BaP in gleichem Masse ab wie die PM10-Konzentrationen. Dies ist in Tabelle 5 dargestellt.



**Abbildung 10:** Mittelwerte über Q1 für PM10 (grau), PAK (blau) und BaP (rot) am Standort Muotathal für die Messperioden im Q1 des jeweiligen Jahres. Die gestrichelte orange Linie zeigt den EU-Jahreszielwert für BaP:  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

Die relative Abnahme in % zwischen 2011 und 2018 war für PM10, PAK und BaP sehr ähnlich. Zwischen den Jahren 2018 und 2025 war die relative Abnahme für PAK und BaP deutlich höher (53.7 und 52.8 %) als die relative Abnahme für PM10 (30.8%). Auch das Verhältnis von PAK bzw. BaP zu PM10 war in den Jahren 2009, 2011 und 2018 sehr ähnlich (Tabelle 4). Erst im Jahr 2025 wurde ein deutlich niedrigeres Verhältnis festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass im Jahr 2025 erstmals die PAK- und BaP-Konzentrationen stärker abnahmen als die generelle Feinstaubbelastung. Somit zeigten die Massnahmen zur Reduktion von PAK im Feinstaub im Jahr 2025 erstmals einen deutlichen Effekt.

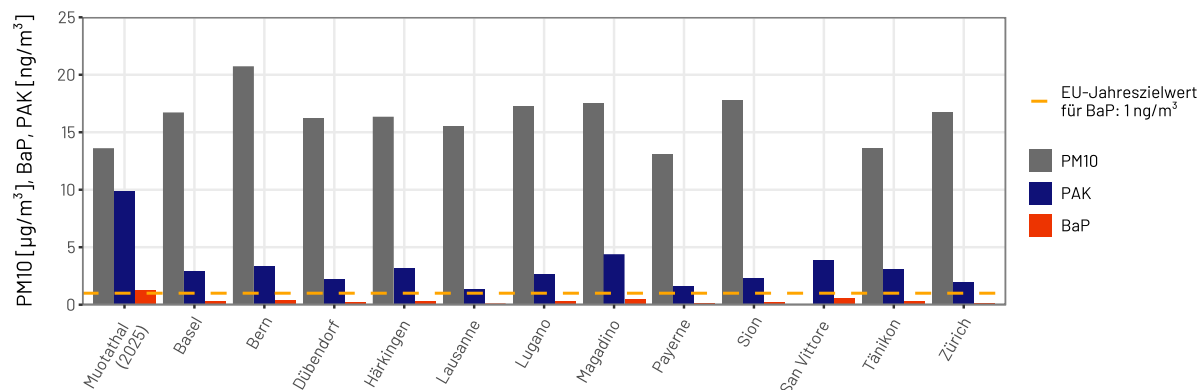
**Tabelle 5:** Absolute und relative Differenz der Mittelwerte der PM10-, PAK- und BaP-Messungen zwischen den Messjahren 2011 und 2018 sowie 2018 und 2025.

	2011 zu 2018		2018 zu 2025	
	Absolut	Relativ [%]	Absolut	Relativ [%]
PM10	-10.1 $\text{ng}/\text{m}^3$	-34.0	-6.1 $\text{ng}/\text{m}^3$	-30.8
PAK	-11.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-33.6	-11.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-53.7
BaP	-1.1 $\text{ng}/\text{m}^3$	-28.6	-1.5 $\text{ng}/\text{m}^3$	-52.8

### 3.3.1. Vergleich PAK Muotathal mit NABEL Stationen

Obwohl die PAK-Konzentrationen in Muotathal mit jeder Messperiode abnehmen, sind diese noch stets deutlich erhöht gegenüber den anderen NABEL Stationen in der Schweiz (Abbildung 11). Die meisten NABEL Stationen liegen eher in städtischen oder verkehrsbelasteten Gebieten und sind nicht direkt vergleichbar mit der Situation in Muotathal. Deshalb wurde die Station San Vittore hinzugefügt. San Vittore

liegt im Misox Tal und ist bezüglich Inversionslagen und Holzfeuerungen vergleichbar mit dem Muotatal. Aus früheren Berichten und der Literatur geht hervor, dass die Verbrennung von Biomasse (wie z. B. bei Holzfeuerungen) mehr PAK emittiert als beispielsweise der Verkehr.<sup>26</sup> Die bestätigt auch Abbildung 11: die verkehrsbelasteten Standorte wie z. B. Zürich oder Lausanne zeigen geringere PAK-Konzentrationen als Magadino (eine eher ländliche NABEL Station), San Vittore und Muotathal. Zusätzlich kommen in San Vittore und Muotathal Inversionslagen ins Spiel, wodurch sich die emittierten PAKs in den Wintermonaten in Bodennähe konzentrieren. Trotz der Vergleichbarkeit der Standorte, sind die PAK-Konzentrationen in San Vittore deutlich niedriger als in Muotathal.



**Abbildung 11:** Vergleich der PM10- (grau), PAK- (blau) und BaP-Konzentrationen (rot) in Muotathal mit den Ergebnissen der PAK-Messungen Januar-März 2024 im NABEL-Messnetz. Für den Standort Muotathal werden nur die 10 PAK gemäss NABEL dargestellt. Datenquelle: NABEL (BAFU und EMPA)

## 4. Fazit und Ausblick

Die Belastung in Muotathal durch PAKs ist nach wie vor deutlich **erhöht gegenüber den anderen Messstandorten des NABEL** in der Schweiz. Dank den ergriffenen Massnahmen in Muotathal konnte die Belastung durch PAKs jedoch auch in der **Messperiode 2025 deutlich gesenkt** werden gegenüber den vorhergehenden Messperioden in den Jahren 2009, 2011 und 2018. Erstmals seit Beginn der Messungen ist dieser Rückgang nicht mit der allgemeinen Abnahme der Feinstaubkonzentrationen zu erklären, sondern es fand eine **Abnahme der PAK-Emissionen im Verhältnis zu den Feinstaubkonzentrationen** statt.

Dies deutet darauf hin, dass die Massnahmen zur Reduktion von PAK-Emissionen in Muotathal erstmals Wirkung zeigen. Zu diesen Massnahmen gehörten einerseits Förderbeiträge, um alte Heizungen aufzurüsten und vermehrt auf erneuerbare Heizmaterialien zu setzen. Diese Förderung wird auch in den Jahren 2025 und 2026 weitergeführt und bietet neben Förderbeiträgen auch Beratung und Unterstützung in der Gesuchsstellung an.<sup>27</sup> Andererseits wurde auch flächendeckend mittels Infoblättern informiert, wie man mit Holz betriebene Kleinf Feueranlagen korrekt anfeuert, um den Schadstoffausstoss möglichst gering zu

<sup>26</sup> Fischer, A. und Hüglin, C., *Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone. Messbericht 2022.*

<sup>27</sup> Gemeinde Muotathal, „Energie-Förderprogramm Muotathal“, 2025, [https://www.muotathal.ch/fileadmin/dateien/Wirtschaft/Energie-Foerderprogramm\\_20252026.pdf](https://www.muotathal.ch/fileadmin/dateien/Wirtschaft/Energie-Foerderprogramm_20252026.pdf).

halten (diese Massnahmen wurden im Bericht 2018 aufgeführt<sup>28</sup>). Eine weitere Massnahme waren Förderbeiträge für Fernwärmeanschlüsse. Dank der Holzindustrie, welche im Tal stark verankert ist, haben mehrere Betriebe überschüssige Energie abzugeben. So heizen die öffentlichen Gebäude in der Gemeinde Muotathal seit 2019 nur noch mit Fernwärme, alle Ölbrenner mussten weichen.<sup>29</sup>

Trotz den Verbesserungen in der Luftqualität in Muotathal sind **weiterhin Massnahmen nötig, um die PAK-Emissionen zu reduzieren** und die Bevölkerung vor den Luftschadstoffen zu schützen. Dieser Bericht zeigt auf, dass die Belastung durch PAK besonders in den inversionsreichen Wintermonaten hoch ist. Da während diesen Monaten häufig Holzheizungen zur zusätzlichen Wärmegewinnung und für den «Gemütlichkeitsfaktor» genutzt werden, ist hier weiterhin Handlungsbedarf gegeben, um die PAK-Emissionen aus diesen zu reduzieren. Während die Wärmegewinnung mit erneuerbaren Energien ersetzt werden kann, ist der «Gemütlichkeitsfaktor» eines Holzfeuers nur schwer zu ersetzen. Hier bietet sich der Einbau von elektrostatischen Partikelfiltern an, welche die Emissionen aus Kleinf Feueranlagen deutlich reduzieren können.<sup>30</sup> Andererseits bleibt die Informationskampagne zum korrekten Anfeuern weiterhin wichtig, auch dadurch können die Emissionen von Luftschadstoffen beim Einheizen reduziert werden.

Sollte diese Messkampagne in 4-7 Jahren erneut durchgeführt werden, liegt die Vermutung nahe, dass das Monatsmittel des 1. Quartals den EU-Zielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$  unterschreitet. Aufgrund von besseren Referenzverfahren der Analysen und daher mehr Studien zu den Langzeitfolgen von PAK als Luftschadstoff, gab die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) kürzlich eine neue Empfehlung für PAK ab. Um das Krebsrisiko auf einen Fall pro 1 Millionen Menschen zu begrenzen, **empfiehlt sie den Zielwert für BaP auf  $0.12 \text{ ng/m}^3$  zu senken**. Die Monatsmittelwerte im Q1 2025 überschreiten diesen Zielwert deutlich.

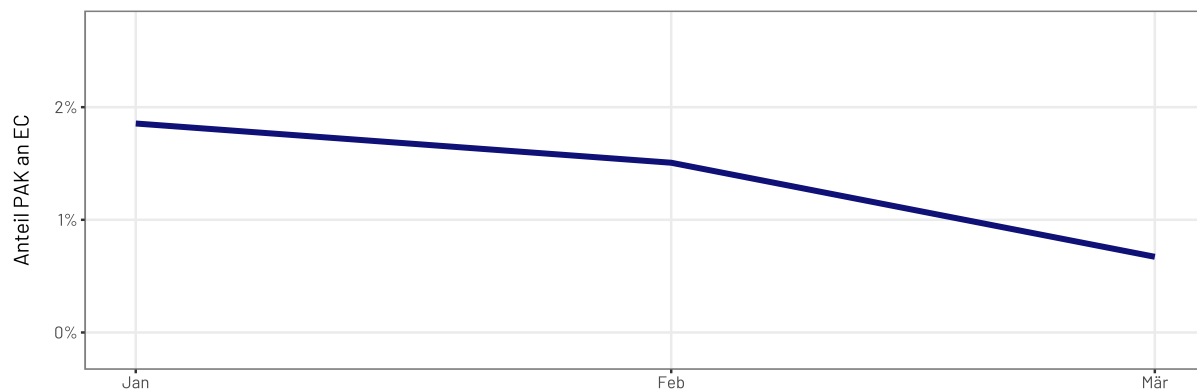
---

<sup>28</sup> Minder, N. u. a., *PAK im atmosphärischen Feinstaub. Vergleich der Feinstaubuntersuchungen im Muotathal zwischen den Messkampagnen 2009, 2011 und 2018*.

<sup>29</sup> Energie-Region Innerschwyz, „Muotathal setzt auf Fernwärme“, 2019, <https://www.energie-region-innerschwyz.ch/aktuell/energieprojekte/muotathal-setzt-auf-fernwaerme.html>.

<sup>30</sup> Engbersen, N., *Literatur- und Erfahrungsrecherche „Filteranlagen bei Kleinf Feueranlagen“* (Umwelt Zentralschweiz, 2025).

## 5. Anhang



**Abbildung A 1:** Anteil von PAK an EC während der Messperiode 2025 in Muotathal. Gezeigt werden die Monatsmittel.

**Tabelle A 1:** Monatsmittelwerte von PAK und BaP der Jahre 2009, 2011, 2018 und 2025 am Standort Muotathal. Hervorgehoben in fett sind die Monatsmittel die unter den EU-Jahresmittelzielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$  fallen.

	2009			2011			2018			2025		
	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär	Jan	Feb	Mär
PAK [ $\text{ng/m}^3$ ]	83.5	19.9	19.9	53.4	31.0	8.7	30.0	23.2	10.1	18.2	7.5	2.6
BaP [ $\text{ng/m}^3$ ]	9.7	2.1	1.9	6.3	3.7	1.0	4.0	2.8	1.2	2.4	<b>0.9</b>	<b>0.3</b>