



Immissionsbericht Engelberg

Autorin

Dr. Nadine Engbersen

Geprüft

Sebastian Wey

Im Auftrag von



Umwelt
Zentralschweiz



innetag.ch/luft



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
1.1.	Gesundheitliche Relevanz der Luftschadstoffe.....	2
2.	Methodik.....	4
2.1.	Messstandorte.....	4
2.2.	Methoden	6
3.	Resultate und Diskussion.....	6
3.1.	Meteorologie	6
3.2.	Jahresmittelwerte.....	7
3.3.	NO ₂ -Passivsammler	8
3.4.	Feinstaub	9
3.5.	Stickoxide	10
3.6.	Russ	12
3.7.	Ozon	14
4.	Fazit und Ausblick	16
5.	Anhang	18

Zusammenfassung / Abstract

Im vorliegenden Bericht werden Immissionsmessungen aus dem Jahr 2024 am Standort Engelberg analysiert und mit Messergebnissen aus den Jahren 2009 und 2011 sowie zwei weiteren Standorten Altdorf und Luzern Moosstrasse verglichen. Ein wichtiger Grund für die Untersuchungen in Engelberg ist die Hypothese, dass Kaltstart-Emissionen insbesondere in der Wintersaison einen bedeutenden Einfluss auf die Immissionsbelastung haben. Kaltstart-Emissionen entstehen immer dann, wenn die Abgaskatalysatoren von Verbrennungsfahrzeugen in den ersten Fahrminuten ihre Betriebstemperatur noch nicht erreicht haben und somit relevante Luftschadstoffe nicht eliminiert werden. Die Relevanz der Fragestellung ergibt sich aus der Tatsache, dass der Hauptanteil der Kaltstart-Emissionen im Wohngebiet von Engelberg verbleibt und dort eine mögliche gesundheitliche Belastung für die lokale Bevölkerung darstellt.

Die hier vorgestellten Immissionsmessungen zeigen, dass die Feinstaubbelastung in Engelberg vergleichbar mit den anderen Standorten ist und die Belastung seit 2009 ähnlich stark zurückgegangen ist wie im schweizweiten Vergleich. Bei NO_x hingegen ist der Belastungsrückgang in Engelberg deutlich geringer als im schweizweiten Vergleich, was auf einen nennenswerten Anteil von Kaltstart-Emissionen zurückzuführen sein könnte. Die Beobachtung, dass die NO_x -Belastung in den Nachmittag-/Abendstunden der Winterwochenenden deutlich erhöht ist, unterstützt diese Vermutung. Zu diesen Tageszeiten treten die mit dem Privatfahrzeug angereisten Schneesportgäste die Rückreise an und das Losfahren vom Parkplatz bei den Bergbahnen entspricht einer typischen Situation für Kaltstart-Emissionen.

Unabhängig von Kaltstart-Emissionen zeigen die hier vorgestellten Immissionsmessungen auch, dass die Russbelastung in Engelberg ganzjährig über dem von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL) vorgeschlagenen Richtwert liegt. Diese Belastung ist einerseits auf die Verbrennung von fossilen Energieträgern (Diesel, Benzin, Öl) zurückzuführen. Andererseits stammt knapp die Hälfte der Russmissionen in der Winterperiode von der Holzverbrennung. Um die Russbelastung zu reduzieren und damit die Bevölkerung vor schädlichen Auswirkungen zu schützen, darf der Emissionsanteil aus den Holzheizungen nicht vernachlässigt werden. Ähnlich wie bei der Verkehrsbelastung im Winter gibt es auch hier Handlungsbedarf.

Um die Immissionsbelastung durch Luftschadstoffe in Engelberg in Zukunft zu reduzieren, aber dem Wintertourismus dennoch ein nachhaltiges Wachstum zu ermöglichen, wird empfohlen,

- die vermehrte Verlagerung des Wintertourismus auf öffentliche Verkehrsmittel wie die Bahn,
 - die Förderung oder Vorschrift von Filteranlagen für Holzheizungen in Privathaushalten,
 - ein Parkplatzmanagement mit kostengünstigeren Tarifen für Elektrofahrzeuge,
 - die Förderung von Wärmeverbunden, sowie
 - die Einführung von temporären Umweltzonen um den emissionsärmeren Verkehr zu fördern
- als Massnahmen zu prüfen.

1. Einleitung

Engelberg ist eine beliebte Destination für den Skitourismus. Die Besucherzahlen in der Hotellerie und den Bergbahnen steigen seit den Corona-Jahren stetig an.¹ Die Bergbahnen Engelberg-Trübsee-Titlis AG (BET) betreiben eines der grössten Skigebiete in der Region. Zusätzlich generieren auch die Brunni-Bahnen wesentliche Besucherströme. Die BET zieht in der Wintersaison rund eine halbe Million Besucher an und der Hauptanteil dieser Besucher reist mit dem Privatfahrzeug an.² Vor allem bei Tagesbesuchern stehen diese Fahrzeuge tagsüber bei durchschnittlich 4 °C auf dem Parkplatz. Zwar sind moderne Abgaskatalysatoren sehr wirksam und eliminieren bis zu 99 % aller relevanten Luftschadstoffe, aber dies erst bei einer Betriebstemperatur von 200 – 300 °C. Diese Temperaturen werden häufig erst nach mehreren Minuten Fahrt erreicht.³ Ein Benzinfahrzeug mit der Abgasnorm Euro 6b emittiert z. B. 59 % der Stickoxidemissionen (NO_x) und 50 % der Feinstaubemissionen (PM₁₀) innerhalb der ersten 5 Minuten.³ Bei normaler Verkehrssituation hat ein Fahrzeug vom Parkplatz der Brunni-Bahnen oder der BET das Dorfgebiet von Engelberg nach 5 Minuten verlassen, wodurch der Grossteil der Gesamtemissionen im Dorfgebiet anfallen.

Die Abgasnorm 6b wurde im Jahr 2014 eingeführt. Seitdem haben sich die Abgasnormen vor allem auf dem Gebiet von realitätsnäheren Testverfahren weiterentwickelt.⁴ Mit der neuen Abgasnorm Euro 7, die im Jahr 2024 angenommen wurde, verändert sich wenig an den bestehenden Grenzwerten. Allerdings müssen diese unter strengeren Testbedingungen (z. B. beim realitätsnahen Fahren auf der Strasse und sowohl bei kalten (– 7 °C) als auch bei warmen Temperaturen (+ 35 °C)) eingehalten werden.⁵ Unbestritten bleibt aber die Tatsache, dass Benzin-, Diesel- und Hybridfahrzeuge weiterhin ein Kaltstart-Problem haben und dieses mehrheitlich zulasten der dichter besiedelten Gebiete geht. Im Winter verstärken Inversionslagen diese Belastung, indem sie die Durchmischung der Luftschichten unterbinden und so die Konzentration der Luftschadstoffe in Bodennähe erhöhen.

Im vorliegenden Bericht werden die Auswertungen der Luftimmissionsmessungen am Standort Engelberg aus dem Jahr 2024 präsentiert. Diese werden mit Messungen aus den Jahren 2009 und 2011 verglichen, da es seither schweizweit zu deutlichen Verbesserungen in der Luftqualität kam. Der Hauptfokus des Berichts liegt auf den Wintermonaten (Januar – Februar und November – Dezember).

1.1. Gesundheitliche Relevanz der Luftschadstoffe

Mit jedem Atemzug nehmen wir nicht nur lebenswichtigen Sauerstoff, sondern auch Luftschadstoffe auf. Diese gelangen über die Atemwege in die Lunge und je kleiner die Partikel sind, desto tiefer können sie in die Lunge eindringen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) geht davon aus, dass global gesehen

¹ Obwaldner Zeitung, „Titlis: Gute Zahlen für erstes Halbjahr und 10,5 Millionen Franken Gewinn“, 28. Juni 2024, <https://www.obwaldnerzeitung.ch/zentralschweiz/obwalden/bilanz-titlis-gute-zahlen-fuer-erstes-halbjahr-und-105-millionen-franken-gewinn-ld.2639015>.

² Amt für Raumentwicklung und Energie, „Verkehrsentslastung Engelbergertal – Monitoring 2023/24“, 29. April 2024, https://www.nw.ch/_docn/380494/Monitoring_VE_Engelberg_Sept23BisMrz24.pdf.

³ Gattlen, Nicolas, „Kaltstart als Schadstoffquelle“, die Umwelt – natürliche Ressourcen in der Schweiz, Nr. 1(2021): 14–16.

⁴ Laskowski, P. u. a., „The problem of cold start emissions from vehicles“, Combustion Engines, 2024, <https://doi.org/10.19206/CE-186471>.

⁵ Europäische Kommission, Vertretung in Deutschland, „Neue Abgasnorm Euro-7: Die Fakten“, Neue Abgasnorm Euro-7: Die Fakten, April 2024, https://germany.representation.ec.europa.eu/neue-abgasnorm-euro-7-die-fakten_de.

Luftverschmutzung das grösste umweltbedingte Gesundheitsrisiko darstellt und bezüglich der gesundheitlichen Belastung mit dem Rauchen vergleichbar ist.⁶

Im Jahr 2021 hat die WHO ihre neuen Luftqualitätsrichtlinien vorgestellt.⁶ Diese beruhen auf neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und liegen deutlich tiefer als die Richtlinien aus dem Jahr 2005, auf welchen die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) der Schweiz basieren. Grund für die Anpassung ist, dass die Luftverschmutzung auch unterhalb der aktuell in der Schweiz gültigen Immissionsgrenzwerte zu Gesundheitsschäden führt. Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) empfiehlt die Aufnahme der neuen Luftqualitätsrichtlinien in die LRV bei deren nächsten Revision.⁷ Im vorliegenden Bericht werden die Richtlinien der WHO für die Interpretation beigezogen und als „von der EKL empfohlene Richtwerte“ bezeichnet.

Nachfolgend werden die in Engelberg gemessenen Luftschadstoffe detailliert beschrieben.

Feinstaub (Particulate Matter, PM₁₀) ist ein Gemisch von Partikeln mit einem Durchmesser von weniger als 10 µm. Entsprechend ihrem Durchmesser werden diese Partikel eingeteilt in PM₁₀ (kleiner als 10 µm) und PM_{2.5} (kleiner als 2.5 µm). Die Herkunft der Partikel ist unterschiedlich. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen, beim mechanischen Abrieb (z. B. von Reifen und Bremsen), durch Aufwirbelungen von Staub und in der Bau- und Landwirtschaft. Die grösseren PM₁₀ Feinstaubpartikel können in die Bronchien gelangen, während die kleineren PM_{2.5} Partikel über die Atemwege bis ins Blut gelangen können. Die Feinstaubpartikel schaden dabei den Atemwegen und dem Herz-Kreislaufsystem und tragen zu erhöhter Sterblichkeit durch Atemwegserkrankungen bei.^{8,9,10} Für PM₁₀ ist in der LRV ein Jahres- sowie 24-h-Mittelgrenzwert festgelegt. PM_{2.5} wurde im Rahmen dieses Berichts nicht erhoben.

Russ (Equivalent Black Carbon, EBC) gehört zu den Feinstaubpartikeln und entsteht durch unvollständige Verbrennungsprozesse, beispielsweise bei Dieselfahrzeugen oder Holzfeuerungen. Russ aus Dieselaabgasen gilt nachweislich als krebserregend und ist schädlich für das kardiovaskuläre System.¹¹ Für Russ ist in der LRV kein Grenzwert festgelegt. Da Russ als krebserzeugender Stoff eingestuft wird, gibt die LRV aber ein Minimierungsgebot vor. Als Referenz gilt der von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL) vorgeschlagene Jahresmittelrichtwert von 0.1 µg/m³.¹²

Stickoxide (NO_x) setzen sich aus Stickstoffmonoxid (NO) und -dioxid (NO₂) zusammen. Bei der Verbrennung von Brennstoffen entsteht NO, welches in der Luft mit Ozon (O₃) zu NO₂ umgewandelt wird. NO₂ ist

⁶ World Health Organization, „WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide“ (Geneva, 2021).

⁷ EKL, „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.

⁸ Swiss TPH, „Interaktive Grafik zu den Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit.“, 2025, <https://www.swisstph.ch/de/projects/lu-dok/healtheffects/>.

⁹ Felber-Dietrich, D., „Luftverschmutzung und Gesundheit. Übersicht zu den Auswirkungen.“, Umwelt-Wissen (Bern: Bundesamt für Umwelt, 2014).

¹⁰ Henning, R. J., „Particulate Matter Air Pollution is a Significant Risk Factor for Cardiovascular Disease“, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.102094>.

¹¹ European Environment Agency, „Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe“, EEA Technical report, 2013.

¹² Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, „Feinstaub in der Schweiz 2013“, 2013, https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/Feinstaub_in_der_Schweiz_2013.pdf.

ein Reizgas und schädigt die menschlichen Schleimhäute.¹³ Nebst der direkten gesundheitsschädigenden Wirkung sind Stickoxide auch Vorläuferstoffe für sekundäre Feinstaubpartikel sowie Ozon, welche wiederum negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Für NO₂ ist in der LRV u. a. ein Jahresmittel- sowie 24-h-Mittelgrenzwert festgelegt. Für NO_x ist kein Grenzwert festgelegt.

Ozon (O₃) bildet sich bei intensiver Sonneneinstrahlung aus Sauerstoff und Vorläuferstoffen wie z. B. NO_x. Ohne Sonnenlicht wirken die Vorläuferstoffe genau umgekehrt und bauen das O₃ wieder ab, somit gilt O₃ als instabiler Schadstoff. In Bodennähe wirkt O₃ als Reizgas und verursacht Atemwegsprobleme sowie Reizungen der Schleimhäute und Augen.¹⁴ In der LRV ist für Ozon u. a. ein 1-h-Mittelgrenzwert definiert.

2. Methodik

2.1. Messstandorte

Feinstaub (PM₁₀), Russ, Stickoxide, Ozon und die meteorologischen Parameter aus dem Jahr 2024 wurden im Zeitraum vom 5. Januar 2024 bis 31.12.2024 in der Messstation an der Engelbergerstrasse gemessen. Dieser Messstandort befindet sich auf 997 m über Meer an der Zufahrtsroute zu den Parkplätzen der Bergbahnen BET sowie dem Dorfzentrum und den Brunni-Bergbahnen (siehe Karte in Abbildung 1). Nach der Abzweigung zu den Parkplätzen der BET entlang der Engelbergerstrasse in Richtung Ortszentrum befindet sich der Standort des NO₂-Passivsammlers. An diesem Standort wird seit 2008 NO₂ gemessen. In den Jahren 2009 und 2011 stand an diesem Standort ebenfalls eine Messstation, mit welcher Stickoxide und Feinstaub (PM₁₀) aber kein Russ gemessen wurde.

Zum Vergleich werden in diesem Bericht zwei weitere Messstationen als Referenz beigezogen. Dabei handelt es sich um die Messstationen Luzern Moosstrasse und Altdorf (Abbildung 2). Die Messstation Luzern Moosstrasse liegt an einer städtischen Hauptverkehrsachse und ist repräsentativ für städtische, stark verkehrsexponierte Gebiete. Die umgebenden Gebäudeschluchten bewirken eine schlechte Durchmischung der Luftschichten, was zu zusätzlichen, hohen Belastungen führt. Die Messstation Altdorf liegt in 100 m Entfernung zur A2 auf einem freien Feld. Sie ist repräsentativ für ein ländliches Gebiet mit Hintergrundbelastung durch eine Emissionsquelle (in diesem Fall die Autobahn) in der näheren Umgebung. Die Messstation in Engelberg ist repräsentativ für ein ländliches Gebiet mit Verkehrsbelastung. Bezogen auf die gesamte Belastungssituation sollte Engelberg zwischen den Messstationen Altdorf und Luzern Moosstrasse liegen.

¹³ Joss, M. K., Dytar, D., und Rapp, R., „Gesundheitliche Wirkung der NO₂-Belastung auf den Menschen. Synthesebericht.“ (Swiss TPH, 2015).

¹⁴ United States Environmental Protection Agency, „Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants“, 2020.

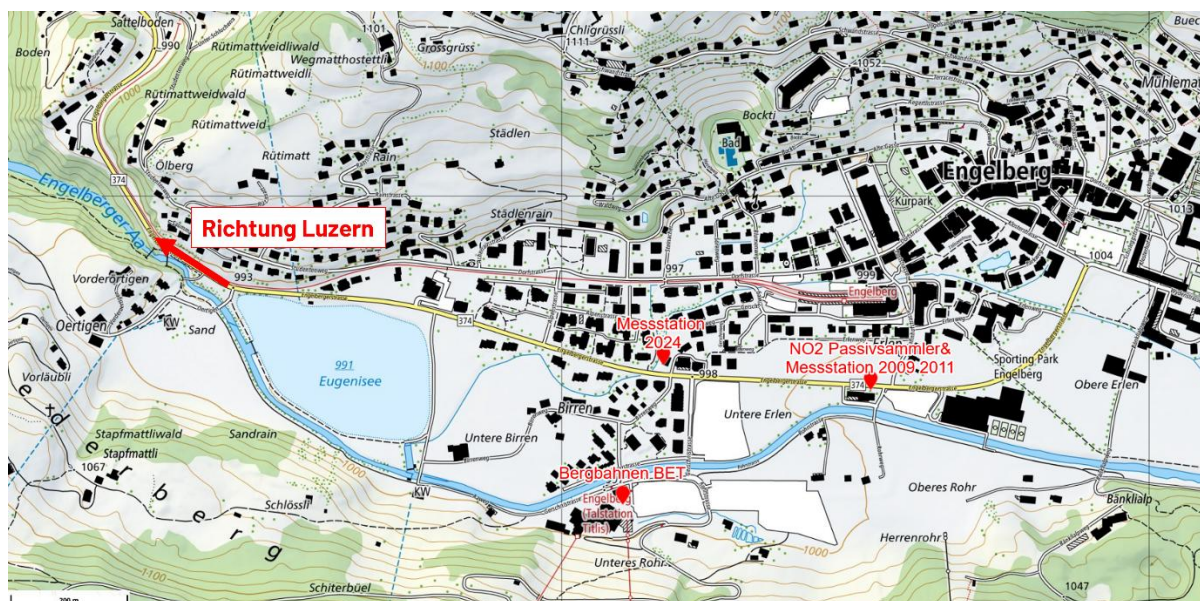


Abbildung 1: Standorte der Messstationen in den Jahren 2009, 2011 und 2024 sowie des NO₂-Passivsammlers entlang der Engelbergerstrasse. Ebenfalls eingezeichnet sind die Bergbahnen Engelberg-Titlis-Trübsee AG (BET) mit den danebenliegenden Parkplätzen. Die Zu- und Wegfahrt nach Engelberg sowie zu den Bergbahnen erfolgt aus Richtung Luzern.

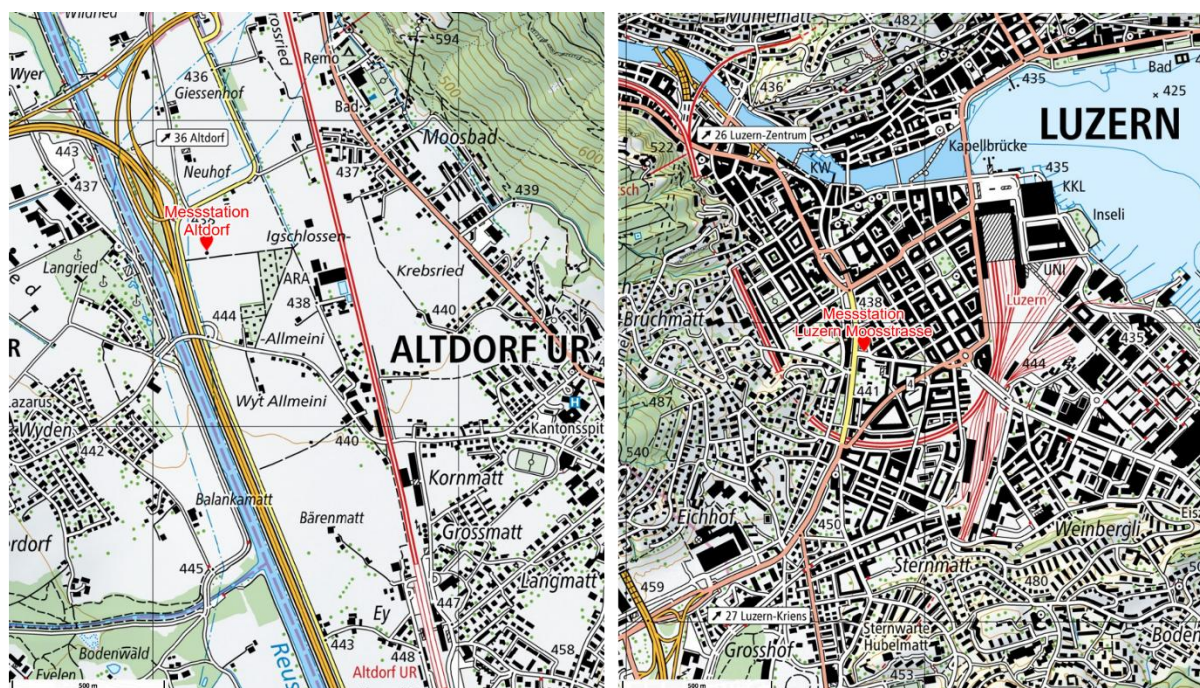


Abbildung 2: Standorte der Messstationen Altdorf (links) und Luzern Moosstrasse (rechts).

2.2. Methoden

Bei den dargestellten Daten handelt es sich um validierte 30-Minutenmittelwerte. PM₁₀ und EBC wurden zusätzlich zur Validierung mit dem entsprechenden gravimetrischen Referenzverfahren¹⁵ bzw. nach dem EUSAAR2-Protokoll¹⁶ korrigiert. Die EBC-Konzentrationen wurden anhand des Aethalometer-Quellenmodells auf den Anteil von Russ aus fossilen und aus nicht-fossilen Quellen aufgeteilt.¹⁷ Bei den Daten des NO₂-Passivsammlers handelt es sich um 4-Wochen-Mittelwerte.

Die Messstation in Engelberg wurde vom 6. Januar 2024 bis 31. Dezember 2024 betrieben. Es ist daher zu beachten, dass beim Vergleich der NO₂-Konzentrationen zwischen der Messstation und dem NO₂-Passivsammler für den Monat Januar ein unvollständiger Monat vorliegt.

Des Weiteren ist zu beachten, dass an der Engelbergerstrasse eine Baustelle vorhanden war. Der Baubeginn war Anfang April 2024 und das Bauende im September. Aufgrund der Bauarbeiten kam es teilweise zu sehr hohen Feinstaubbelastungen. Zur besseren Vergleichbarkeit für den Feinstaubparameter PM₁₀ wurden diese erhöhten Werte als Ausreisser behandelt und aus dem Datensatz entfernt. Es wurden nur Werte ausgeschlossen, welche die folgenden Kriterien erfüllten:

1. Differenz von $> 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen der Messstation Engelberg und Luzern Moosstrasse
2. Der Wert wurde an einem Wochentag (Mo – Fr) während der Arbeitszeit von 06:00 bis 18:00 gemessen

Insgesamt wurden 70 Datenpunkte von PM₁₀ als Ausreisser identifiziert und aus dem Datensatz entfernt. Eine Übersicht der entfernten Datenpunkte sowie ein Vergleich der Jahresmittelwerte ist im Anhang (Abbildung A1, Tabelle A1) ersichtlich.

Für die Datenauswertung wurde die Software R (Version 4.4.3) mit RStudio und den Packages *tidyr*, *dplyr*, *lubridate*, *ggplot2* und *cowplot* verwendet.

3. Resultate und Diskussion

3.1. Meteorologie

Bei der Interpretation von Immissionsmessdaten spielen Meteorologie und Klima eine entscheidende Rolle. So fördern zum Beispiel Perioden mit langer Sonneneinstrahlung im Sommer die Ozonbildung, weshalb es vor allem im Sommer zu Überschreitungen des Ozongrenzwertes kommt. Im Winter hingegen sorgen Inversionslagen dafür, dass sich Schadstoffe wie Feinstaub und Stickoxide in bodennahen Luftschichten ansammeln, da der Austausch mit höheren Luftschichten eingeschränkt ist. Zusätzlich steigt im Winter die Heizaktivität, wodurch zusätzliche Schadstoffe, vor allem von Holzheizungen, emittiert

¹⁵ Bundesamt für Umwelt BAFU, „Immissionsmessung von Luftfremdstoffen – Messempfehlungen“, Vollzug Umwelt VU, 5. Mai 2021, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-luft/luft--publikationen/publikationen-luft/immissionsmessung-von-luftfremdstoffen.html>.

¹⁶ Cavalli, F. u. a., „Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol“, Atmospheric Measurement Techniques Discussions (Atmospheric Measurement Techniques Discussions, 2009).

¹⁷ Wey, H. und Ruckstuhl, C., „Russbelastung in der Zentralschweiz“ (Altdorf: inNET Monitoring AG, 2022).

werden. Ganzjährig sorgen Saharastaub-Ereignisse immer wieder für erhöhte Feinstaubwerte. Im Jahr 2024 kam es Ende März / Anfang April sowie Ende Juni zu grösseren Saharastaub-Ereignissen.¹⁸

Das Jahr 2024 war das wärmste Jahr in Engelberg seit Messbeginn. Vor allem der Februar war ungewöhnlich mild und lag 4.6 °C über der Normtemperatur (Temperaturmittel zwischen 1991 – 2020), was eine massive Erwärmung darstellt (Abbildung 3). Das Jahr 2024 zeigte sich auch eher nass (200 mm mehr Niederschlag im Vergleich zur Norm) und weniger sonnig (117 weniger Sonnenstunden im Vergleich zur Norm).¹⁹ Der Frühling war allgemein niederschlagsreich und mild. Der Sommer begann ebenfalls mild, wurde aber im Juli und August durch Sommerhitze abgelöst. Der Herbst war sehr sonnig und allgemein mild, bis auf einen Temperatursturz in der ersten Septemberhälfte, der lokal für aussergewöhnliche Schneemengen sorgte. Mehr Schnee fiel im letzten Novemberdrittel und kurz vor Weihnachten. Diese Schneefälle, kombiniert mit sonnigem Wetter, führten in den Skigebieten zu ausgezeichneten Schneesportverhältnissen über die Weihnachtsfeiertage.¹⁶

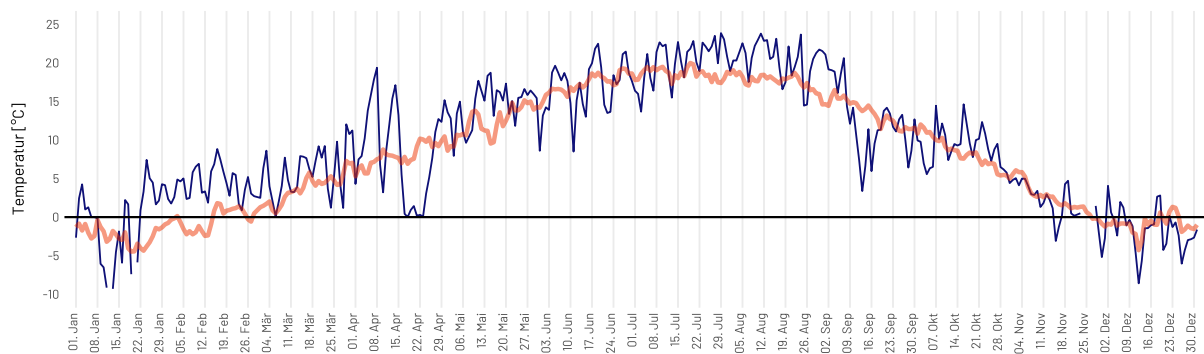


Abbildung 3: Die blaue Linie zeigt die gemittelten Tagestemperaturen an der Messstation Engelberg im Jahr 2024. Fehlende Linien deuten auf Messlücken hin. Die rote Kurve stellt das langjährige Temperaturmittel von 2010-2023 dar.

3.2. Jahresmittelwerte

Die Jahresmittelwerte geben einen Überblick über die Luftbelastung in Engelberg im Vergleich zu den Messstationen Altdorf und Luzern Moosstrasse (Tabelle 1). Im Jahresmittel kam es bei PM₁₀ und NO₂ an keinem der Standorte zu einer Überschreitung der LRV Grenzwerte. Der empfohlene Richtwert der EKL für NO₂ wurde im Jahr 2024 an allen Standorten überschritten. Die Russbelastung überschreitet im Jahr 2024 den empfohlenen Richtwert an allen Standorten. Auch beim Ozon kam es an allen Standorten regelmässig zu Überschreitungen des 1-h-Grenzwertes, der nur einmal im Jahr überschritten werden dürfte.

¹⁸ MeteoSchweiz, „Klimabulletin Jahr 2024“, 2025.

¹⁹ MeteoSchweiz, „Jahresverlauf 2024 an Station Engelberg“, 2024, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/climate-overview-series-public.html>.

Tabelle 1: Jahresmittelwerte der Luftschadstoffe PM₁₀, NO_x, NO₂ und Russ an den Messstationen in Engelberg, Altdorf und Luzern Moosstrasse. Für O₃ werden die Anzahl Stunden pro Jahr mit Überschreitung des Grenzwertes mitgeteilt. Sofern Immissionsgrenzwerte in der LRV vorhanden sind, sind diese angegeben. Für O₃ ist in der LRV die maximal erlaubte Anzahl Überschreitungen des 1-h-Mittelwerts festgelegt. Die empfohlenen Richtwerte der EKL, welche auf die Luftqualitätsrichtlinien der WHO aus dem Jahr 2021 zurückgehen, sind ebenfalls angegeben.

	Jahresmittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				Anz. Stunden > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM ₁₀	NO _x	NO ₂	Russ	Ozon
Engelberg 2009	19.1	31.3	19.6	-	93
Engelberg 2011	18.5	33.1	20.3	-	149
Engelberg 2024	8.7	24.5	13.4	0.35	4
Altdorf 2024	9.9	18.9	13.0		30
Luzern Moosstr. 2024	12.5	44.1	24.9	0.51	-
Immissionsgrenzwert LRV	20	-	30	0.1*	1
Empfohlener Richtwert EKL	15	-	10	0.1*	1

* Hierbei handelt es sich nicht um einen Grenzwert, sondern einen Richtwert gemäss Empfehlung EKL.

3.3. NO₂-Passivsammler

Der NO₂-Passivsammler steht knapp 300 m nach der Abzweigung zum Parkplatz der Bergbahnen BET (Abbildung 1), während die Messstation 70 m vor der Abzweigung zum Parkplatz steht. Somit sollte aus der Differenz der NO₂-Konzentrationen an beiden Standorten abgeleitet werden können, ob ein nennenswerter Anteil des Verkehrs auf dem Parkplatz verbleibt. NO₂ ist ein Anteil von NO_x (NO_x = NO + NO₂) und daher auch ein Indiz für Verkehrsbelastung.

Abbildung 4 zeigt, dass die NO₂-Konzentration in den Wintermonaten Dezember und Januar, sowie im November des Jahres 2024 an der Messstation leicht erhöht ist gegenüber dem Passivsammler. Dies deutet darauf hin, dass ein Anteil des Verkehrs auf dem Parkplatz der Bergbahnen BET verbleibt. Besonders im Dezember – dank den ausgezeichneten Schneesportbedingungen über die Feiertage – ist dieser Unterschied besonders ausgeprägt. Im Februar und März ist dieser Trend jedoch nicht sichtbar. Von April bis Oktober sind die Konzentrationen an beiden Standorten ähnlich, was darauf hindeutet, dass der Parkplatz der Bergbahnen BET im Winter intensiver genutzt wird als im Sommer. Der Jahresmittelwert des Immissionsgrenzwertes wird in keinem Monat überschritten. Die Jahresmittelkonzentrationen von NO₂ am Standort des Passivsammlers in Engelberg nehmen seit Beginn der Messreihe (2008) ab (Tabelle A2) und seit 2022 kam es in keinem Monat mehr zu Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes (Abbildung A2). Der empfohlene Jahresmittel-Richtwert der EKL von 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wird jedoch in 6 von 12 Monaten überschritten.

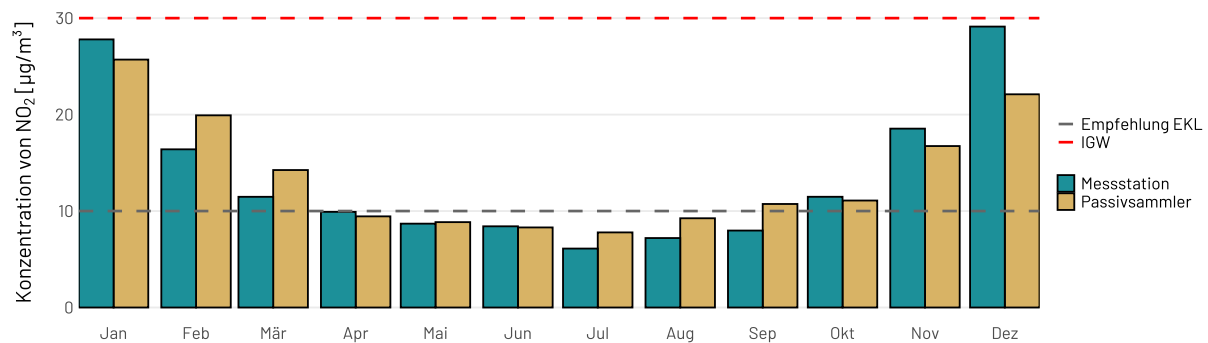


Abbildung 4: Gemessene NO₂-Konzentrationen am Standort der Messstation Engelberg und dem Passivsammler-Standort in Engelberg. Die Balken zeigen die gemittelte Monatskonzentration. Die rot gestrichelte Linie entspricht dem Jahresimmissionsgrenzwert aus der LRV von 30 µg/m³, die grau gestrichelte Linie entspricht dem von der EKL empfohlenen Jahresmittel-Richtwert von 10 µg/m³.

3.4. Feinstaub

Die Feinstaubkonzentration von PM₁₀ in Engelberg war im Jahr 2024 deutlich niedriger als in den Jahren 2009 und 2011 (Abbildung 5A, Tabelle 1). Während es in den Jahren 2009 und 2011 noch zu einzelnen Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes von 20 µg/m³ kam, war dies im Jahr 2024 nicht mehr der Fall. Auch der von der EKL empfohlene Jahresmittel-Richtwert von 15 µg/m³ wurde 2024 in Engelberg nicht mehr überschritten. Diese Abnahme der PM₁₀-Konzentrationen liess sich schweizweit beobachten. Mehrere Messstationen entlang den Transitachsen der Schweiz zeigten, dass es ab dem Jahr 2018 zu keinen Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes mehr kam.²⁰ Die Absenkung der Feinstaubimmissionen ist vor allem auf verbesserte Motorentechnologie und Abgasnachbehandlung zurückzuführen. Auch die Elektrifizierung der Motorfahrzeuge hat einen zunehmenden Anteil am Rückgang der Feinstaubimmissionen.

In Abbildung 5B wird die PM₁₀-Konzentration in Engelberg verglichen mit den PM₁₀-Konzentrationen der Messstationen Altdorf und Luzern Moosstrasse. Die Feinstaubbelastung in Engelberg ist dabei nie höher als an der stark verkehrsbelasteten Station Luzern Moosstrasse. In den Monaten März, April und Juni ist die Feinstaubbelastung in Engelberg höher als in Altdorf. Die Messstationen in Altdorf und Luzern liegen vor allem in den Wintermonaten teilweise unter einer Inversionsschicht, welche zu einer Erhöhung der Schadstoffbelastung führt, da die Durchmischung der Luftschichten unterbunden wird. Da Engelberg deutlich höher liegt, sind Inversionslagen hier eher selten. An keinem Standort kam es 2024 zu einer Überschreitung des Jahresmittelgrenzwertes. Auch der von der EKL empfohlene Jahresmittel-Richtwert wurde an allen Stationen eingehalten, an der Luzerner Moosstrasse in der Monaten Januar und November allerdings nur knapp.

²⁰ 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>.

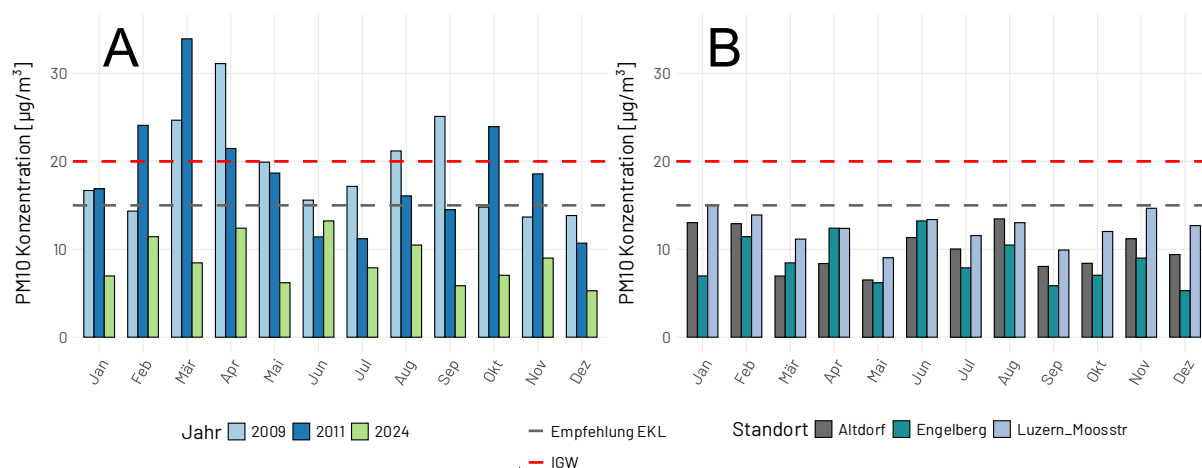


Abbildung 5: Monatsmittelwerte der Feinstaub(PM10)-Konzentrationen in den Jahren 2009, 2011 und 2024 (A) und der unterschiedlichen Messstationen Altdorf, Luzern Moosstrasse und Engelberg (B). Die rot gestrichelte Linie entspricht dem Jahresimmissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die grau gestrichelte Linie entspricht dem von der EKL empfohlenen Jahresmittel-Richtwert von $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der Tagesverlauf der Feinstaubbelastung in Engelberg (Abbildung 6) zeigt, dass im Sommer des Jahres 2024 die Belastung tendenziell höher war als im Winter. Die höhere Feinstaubbelastung im Sommer ist wahrscheinlich auf die nahe gelegene Baustelle zurückzuführen. Der Sonntag zeigt im Sommer eine deutlich reduzierte Feinstaubbelastung im Verhältnis zu den anderen Wochentagen. Im Winter ist dies weniger ausgeprägt und die Feinstaubbelastung während der Arbeitswoche und des Wochenendes ist eher vergleichbar.

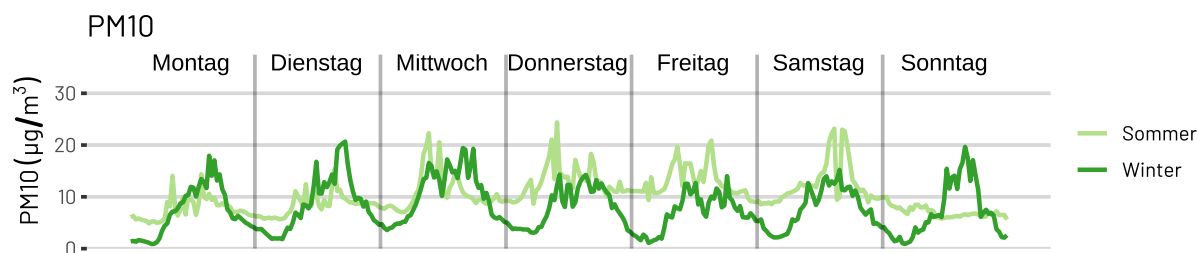


Abbildung 6: Konzentrationen von PM10 in Engelberg im Wochen- und Tagesgang für die Sommer- und Wintermonate (Juni, Juli, August vs. Januar, Februar, Dezember). Die dargestellte Kurve entspricht dem Mittelwert der in die entsprechenden Monate fallenden 30-Minuten-Mittelwerte.

3.5. Stickoxide

Im Schnitt zeigt die NO_x -Belastung in Engelberg im Jahr 2024 einen leichten Rückgang gegenüber den Jahren 2009 und 2011 (Abbildung 7A). Schweizweit wurde entlang den grossen Transitachsen seit 2009 ein Rückgang von $\sim 63\%$ beobachtet¹⁸, welcher ebenfalls auf die Fortschritte von Motoren und Abgasnachbehandlung des motorisierten Verkehrs zurückzuführen ist. In Engelberg beträgt der Rückgang jedoch nur $\sim 22\%$ seit dem Jahr 2009. Zu beachten ist jedoch, dass die Messstation in den Jahren 2009 und 2011 an einem Standort mit weniger Verkehr stand als 2024 (vgl. Abbildung 1). Die Tatsache, dass die

NO_x-Belastung im Dezember 2024 diejenige der Jahre 2009 und 2011 übersteigt, kann durch die unterschiedlichen Standorte aber nicht vollständig erklärt werden. Ein Grund liegt vermutlich bei den ausgezeichneten Schneeverhältnissen über die Weihnachtsfeiertage, welche zahlreiche Schneesportler in die Berge lockten und zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen führten.

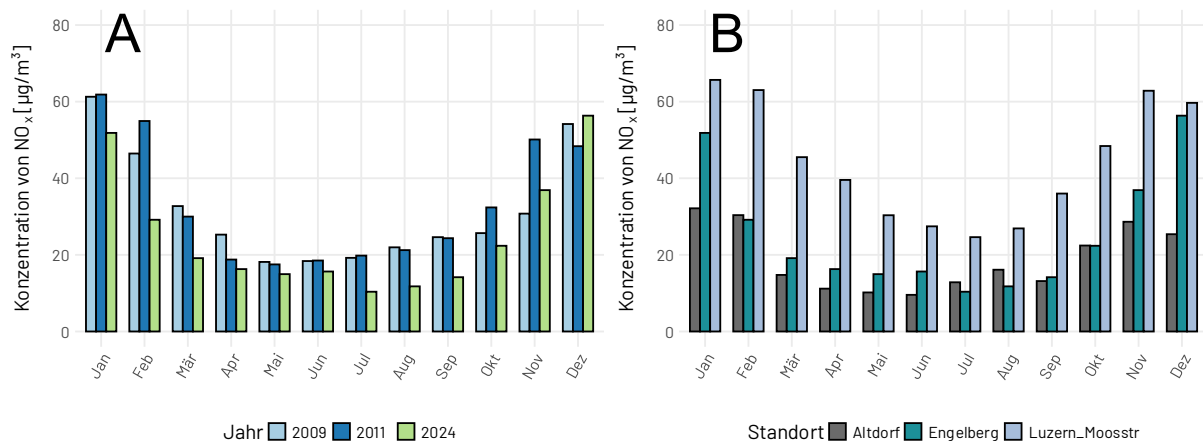


Abbildung 7: Monatsmittelwerte der NO_x-Konzentrationen in den Jahren 2009, 2011 und 2024 (A) und der unterschiedlichen Messstationen Altdorf, Luzern Moosstrasse und Engelberg (B).

Im Vergleich mit den Messstationen Altdorf und Luzern Moosstrasse zeigt sich, dass die NO_x-Belastung in Engelberg mehrheitlich mit derjenigen von Altdorf zu vergleichen ist (Abbildung 7B). Die Belastung an der verkehrsbelasteten Moosstrasse in Luzern ist deutlich höher. Dieses Verhältnis ändert sich aber in den Wintermonaten, vor allem im Dezember und Januar. Hier wurden in Engelberg im Vergleich zur Station Altdorf deutlich höhere NO_x-Belastungen beobachtet. Im Dezember waren diese sogar ähnlich hoch wie an der Messstation Luzern Moosstrasse. Dies deutet auf eine deutlich verstärkte Verkehrsbelastung in Engelberg hin, welche vermutlich auf den Reiseverkehr des Skitourismus über die Weihnachtsfeiertage zurückzuführen ist. Die deutlich niedrigeren NO_x-Belastungen im Februar könnten auf die milden Temperaturen im Februar zurückzuführen sein, wodurch die Verhältnisse in den Skigebieten nur mässig waren. Andererseits könnte auch der vermehrte Wochentourismus während den Schulferien im Februar als Erklärung für die tiefere NO_x-Belastung aufgeführt werden, da dieser im Vergleich zum Tagestourismus weniger Verkehrsaufkommen generiert.

Die Tagesverläufe der NO_x-Belastung zeigen im Winter der Jahre 2009 und 2011 über die gesamte Woche hin einen gleichmässigen Verlauf (Abbildung 8). Ähnlich hohe Peaks in den Morgen- und Abendstunden deuten auf den motorisierten Pendelverkehr hin. Diese Morgen- und Abendpeaks bestehen auch am Wochenende. Im Sommer sind diese Peaks nur in den Morgenstunden zu sehen. Dies könnte ein Hinweis auf Kaltstart-Emissionen sein, die im Sommer eher in den kühlen Morgenstunden anfallen. Im Vergleich dazu hat sich das Mobilitätsverhalten im Jahr 2024 deutlich verändert. An Winterwochenenden ist vor allem am Nachmittag / Abend ein deutlicher Peak in der NO_x-Belastung zu beobachten. Der abendliche Peak ist auch unter der Woche leicht zu erkennen, allerdings deutlich weniger ausgeprägt als am Wochenende (mit Ausnahme des Freitags). Dass die NO_x-Belastung am Wochenende in den Abendstunden deutlich

höher ist, lässt vermuten, dass der Grossteil dieser Belastung durch abreisenden Schneesporttourismus verursacht wird. Da die Fahrzeuge tagsüber auf dem kalten Parkplatz stehen, könnten beim Antritt der Heimreise deutliche Kaltstart-Emissionen entstehen, welche zu diesen erhöhten NO_x -Emissionen führen können.



Abbildung 8: Konzentrationen von NO_x in Engelberg im Wochen- und Tagesgang für die Sommer- und Wintermonate (Juni, Juli, August vs. Januar, Februar, Dezember) in den Jahren 2024, 2011 und 2009. Die dargestellte Kurve entspricht dem Mittelwert der in die entsprechenden Monate fallenden 30-Minuten-Mittelwerte.

3.6. Russ

Die Russbelastung zeigt einen typischen Jahresverlauf mit erhöhten Belastungen in den kühleren Wintermonaten und geringer Belastung in den wärmeren Sommermonaten (Abbildung 9). Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Anteil des Russes aus Holzfeuerungen stammt (Abbildung 10), welche vor allem in den kalten Monaten betrieben werden.

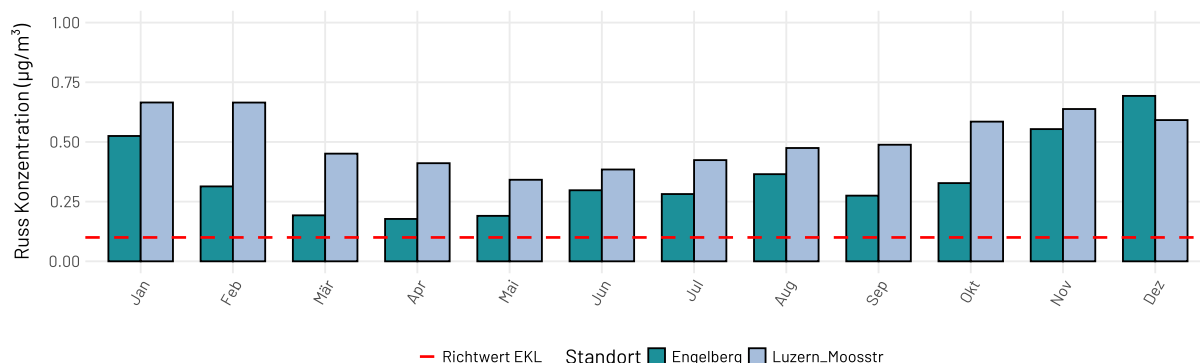


Abbildung 9: Monatsmittelwerte der Russ-Konzentrationen an den Messstationen Luzern Moosstrasse und Engelberg. An der Station Altdorf wurden keine Russmessungen durchgeführt. Die rot gestrichelte Linie zeigt den von der EKL empfohlenen Jahresrichtwert von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Im Jahr 2024 lag die Russbelastung an beiden Standorten in jedem Monat über dem empfohlenen Richtwert der EKL (Abbildung 9). Der Jahresmittelwert in Engelberg lag bei $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und an der Luzerner Moosstrasse bei $0.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Vergleich zur stark verkehrsbelasteten Luzerner Moosstrasse waren die Russbelastungen in Engelberg in jedem Monat niedriger, mit Ausnahme des Dezembers. Die niedrigen Temperaturen im Dezember führten zu einer hohen Heizaktivität. In Kombination mit den guten Schneeverhältnissen um die Weihnachtsfeiertage, welche zu einer erhöhten Verkehrsbelastung führten, wurde in Engelberg eine höhere Russbelastung gemessen als an der Luzerner Moosstrasse.

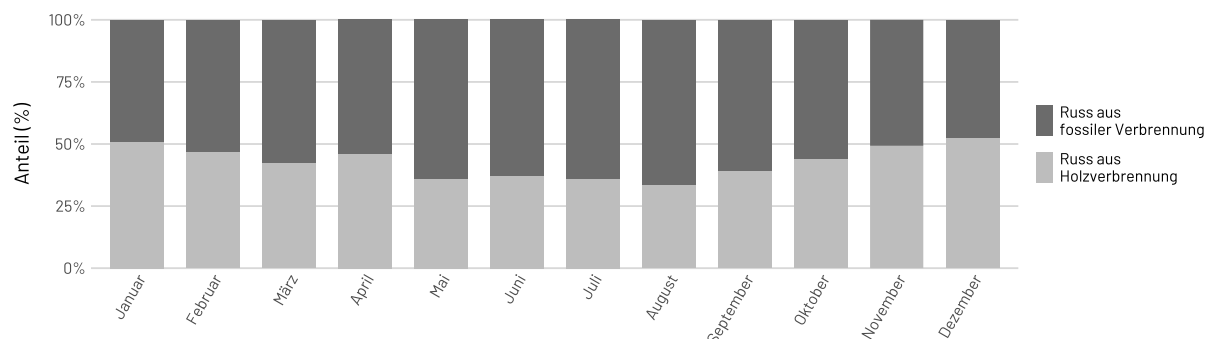


Abbildung 10: Die Russbelastung in Engelberg im Jahr 2024 aufgeteilt nach Anteil des Russes, welcher aus der Verbrennung von fossilen und nicht-fossilen (v. a. Holz) Brennstoffen stammt.

Im Wochenverlauf ist an Freitagen und Samstagen im Winter eine tendenziell höhere Russbelastung gegen Abend zu beobachten als an den anderen Wochentagen, mit Ausnahme des Montags (Abbildung 11A). Jedoch lassen sich diese erhöhten Belastungen nicht eindeutig dem Russ aus fossiler Verbrennung zuordnen (Abbildung 11B, 11C). Zusätzlich lässt sich beobachten, dass die abendlich erhöhte Russbelastung im Winter mehrheitlich den Holzfeuerungen zuzuschreiben ist. Im Sommer ist diese Dynamik auch zu beobachten, allerdings in geringerem Ausmass und die Immissionen aus Holzfeuerungen haben ihren Hauptanteil während der Nacht und nicht während dem Abend (Abbildung 11B). Es ist zu beachten, dass

die Russkonzentrationen in Engelberg zu fast jedem Zeitpunkt im gemittelten Wochenverlauf über dem von der EKL empfohlenen Jahresrichtwert liegen (Abbildung 11A).

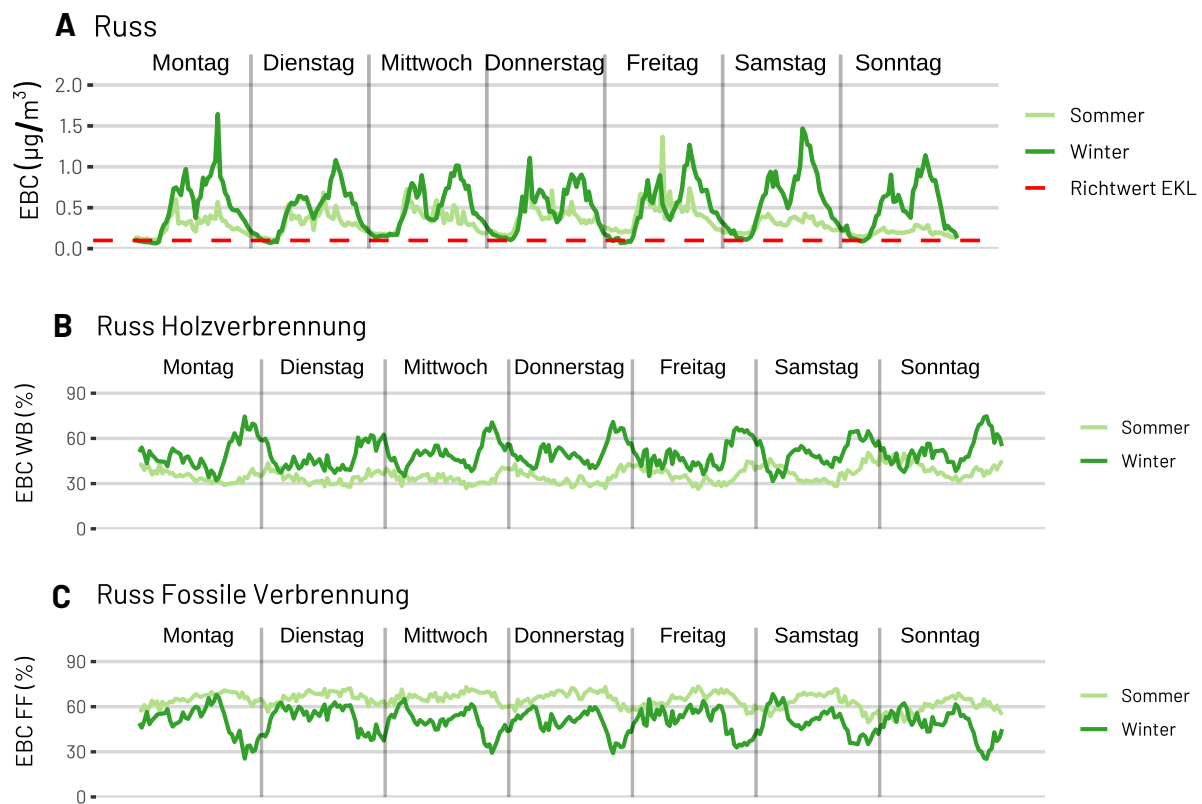


Abbildung 11: Konzentrationen von Russ dargestellt als EBC (Equivalent Black Carbon) im Wochen- und Tagesgang für die Sommer- und Wintermonate (Juni, Juli, August vs. Januar, Februar, Dezember). Die dargestellte Kurve entspricht dem Mittelwert der in die entsprechenden Monate fallenden 30-Minuten-Mittelwerte. Die obere Abbildung (A) zeigt die gesamten Russkonzentrationen, die mittlere (B) nur den Anteil Russ, welcher aus der Verbrennung von nicht-fossilen Brennstoffen (WB = wood burning) entsteht und die unterste (C) nur den Anteil Russ, welcher aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht (FF = fossil fuel). Die rot gestrichelte Linie zeigt den von der EKL empfohlenen Jahresrichtwert von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an.

3.7. Ozon

Die Ozonkonzentrationen waren im Jahr 2024 vergleichbar mit dem Jahr 2009 und tendenziell höher als im Jahr 2011 (Abbildung 12A). Einzig in den Monaten August, September und Dezember zeigte das Jahr 2024 deutlich höhere Ozonkonzentrationen als die Vorjahre. Im August und teilweise im September kann dies auf das ausgedehnte Sommerhoch zurückzuführen sein (Vgl. Kapitel 3.1).

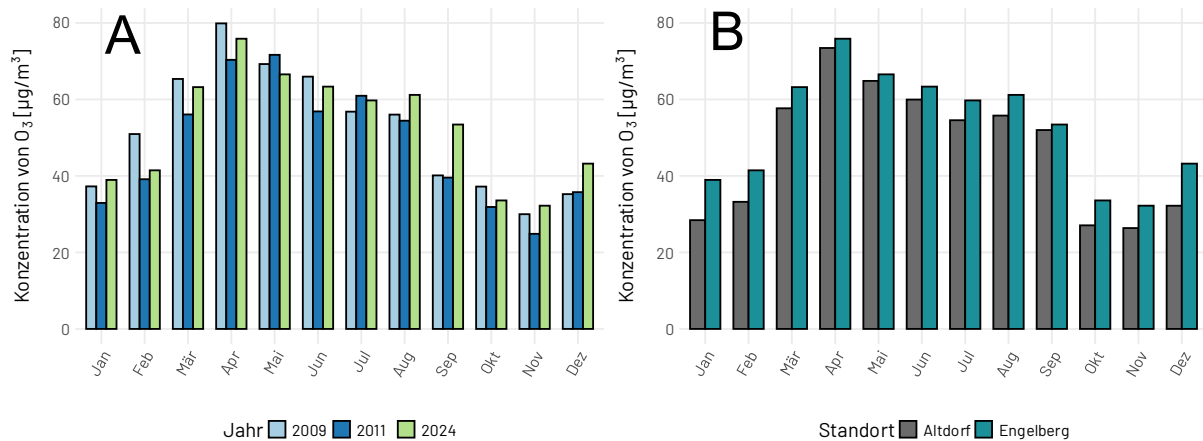


Abbildung 12: Monatsmittelwerte der O_3 -Konzentrationen in den Jahren 2009, 2011 und 2024 (A) und der Messstationen Altdorf und «Engelberg» (B). An der Moosstrasse in Luzern wurden keine Ozonmessungen durchgeführt.

Im Vergleich zum Standort Altdorf waren in Engelberg stets höhere O_3 -Konzentrationen zu beobachten (Abbildung 12B). Ozon bildet sich aus Vorläuferstoffen, wie z. B. NO_x , und die NO_x -Konzentrationen waren in Altdorf deutlich niedriger als in Engelberg im Jahr 2024 (Abbildung 7B). Obwohl die Ozonkonzentrationen in Engelberg im monatlichen Durchschnitt höher waren als in Altdorf, wurde in Altdorf der 1-h-Mittelgrenzwert von $120 \mu g/m^3$ deutlich öfter (30-mal) überschritten als in Engelberg (4-mal) im Jahr 2024.

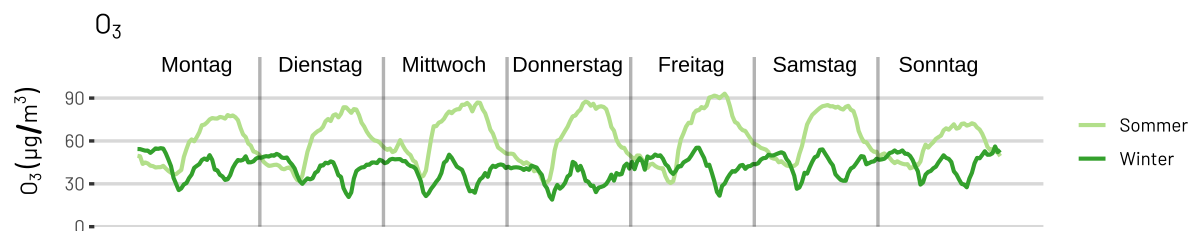


Abbildung 13: Konzentrationsverlauf von O_3 in Engelberg im Wochen- und Tagesgang für die Sommer- und Wintermonate (Juni, Juli, August vs. Januar, Februar, Dezember). Die dargestellte Kurve entspricht dem Mittelwert der in die entsprechenden Monate fallenden 30-Minuten-Mittelwerte.

Im Wochen- und Tagesverlaufvergleich zwischen Sommer und Winter ist deutlich ersichtlich, dass erhöhte Ozonkonzentrationen mehrheitlich im Sommer auftreten (Abbildung 13). Im Sommer baut sich das Ozon während den sonnenintensiven Stunden aus den Vorläuferstoffen (u.a. NO_x) auf. Da die NO_x -Konzentrationen im Sommer während der Woche höher sind als am Wochenende (Abbildung 8), kommt es unter der Woche zu höheren Ozonkonzentrationen als am Wochenende. In der Nacht, bzw. in der Abwesenheit von Sonnenlicht, baut sich das Ozon wieder ab. Im Winter ist ersichtlich, dass es vormittags und nachmittags deutliche Einbrüche in den Ozonkonzentrationen gibt. Diese hängen wohl mit den morgendlichen und abendlichen Spitzen von NO_x zusammen. In Abwesenheit von intensivem Sonnenlicht reagiert NO_x (hauptsächlich NO) mit Ozon zu NO_2 und O_2 , wodurch das Ozon abgebaut wird.

4. Fazit und Ausblick

Der vorliegende Bericht zeigt die Immissionssituation an der Engelbergerstrasse in Engelberg im Jahr 2024 auf. Die Luftbelastung durch PM₁₀ und NO_x ist im Jahr 2024 deutlich tiefer als in den Jahren 2009 und 2011. Für PM₁₀ kam es im Jahr 2024 zu keiner Überschreitung des Jahresmittelgrenzwertes mehr. Diese Verbesserung der Luftqualität ist auf eine erfolgreiche Luftreinhaltepolitik und eine Verbesserung in der Effizienz von Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung zurückzuführen. Trotz des sichtbaren Rückgangs reduzierte sich die NO_x-Belastung in Engelberg deutlich weniger (22 %) als im schweizweiten Vergleich (63 %) seit 2009 und dies trotz tendenziell rückläufigen Verkehrszahlen im Engelbergertal.²¹ Diese Entwicklung könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Skitourismus generell zunimmt und die damit einhergehenden Kaltstart-Emissionen der Privatfahrzeuge bei der Rückreise der Gäste einen nennenswerten Anteil der NO_x-Belastung verursachen. Zusätzlich lag die Messstation in den Jahren 2009 und 2011 dorfeinwärts nach dem Parkplatz der BET Bahnen, wodurch das Verkehrsaufkommen geringer war als am Standort von 2024.

Sowohl bei Ozon als auch bei Russ kommt es zu Überschreitungen der Grenz- bzw. Richtwerte. Im Fall von Russ sind diese grossflächig²² und bestehen in Engelberg nicht nur in den Wintermonaten (Abbildung 11A). Hier ist deutlicher Handlungsbedarf gegeben, da Russ nachweislich als krebserzeugend gilt und gemäss dem Minimierungsgebot der LRV reduziert werden muss. In den Wintermonaten stammt gemäss der Abschätzung mit dem Aethalometer-Quellenmodell gut die Hälfte der Russimmissionen aus der Holzverbrennung, welche v. a. auf Kleinf Feuerungsanlagen (z. B. Kaminöfen, Herde, Speicheröfen) zurückzuführen sind. Grössere Holzverbrennungsanlagen wie z. B. Wärmeverbunde müssen Filteranlagen verwenden, welche auch die Russemissionen reduzieren. Für Kleinf Feuerungen in Privathaushalten sind vergleichbare Vorschriften nicht vorhanden. In Gebieten, die durch Russ stark belastet sind, empfiehlt sich eine Förderung oder Vorschrift von Filteranlagen auch für Privathaushalte und die Förderung von Wärmeverbunden als Ersatz von Kleinf Feuerungsanlagen.

Die Russemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Benzin- und Dieselfahrzeuge, Ölheizungen, etc.) sind anteilmässig zwar im Sommer höher, aber ganzheitlich gesehen werden im Winter mehr Russemissionen produziert. Auch wenn dies aus dem vorliegenden Bericht nicht vollständig hervorgeht, dürfte ein nennenswerter Anteil der fossilen Russemissionen auf die Kaltstart-Problematik von Verbrennungsmotoren zurückzuführen sein. Die Kaltstart-Problematik kann aber durch lokale Massnahmen nur bedingt gelöst werden, da die Abgasnormen auf Bundesebene geregelt werden. Hier empfiehlt sich, weiterhin Anstrengungen zu unternehmen, um den motorisierten Individualverkehr verstärkt auf die Bahn zu verlagern. Ähnlich dem Vorbild aus der Westschweiz wäre auch die Einführung einer Umweltzone eine Überlegung wert. In einer Umweltzone dürfen nur Fahrzeuge mit einer bestimmten Vignette fahren (Anwohner und Zulieferer ausgenommen). In Genf z. B. darf ab einer bestimmten Luftschadstoff-

²¹ Kanton Nidwalden, „Verkehrsbelastung im Engelbergertal geht leicht zurück“, 22. Mai 2024, <https://www.nw.ch/politikinformationen/114682>.

²² Wey, H. und Ruckstuhl, C., „Russbelastung in der Zentralschweiz“.

Konzentration das Stadtzentrum nur noch von Fahrzeugen befahren werden, welche über eine Umweltplakette verfügen. Diese wird entsprechend der Schadstoffklasse des Fahrzeugs vergeben.²³

Grundsätzlich rechnet Engelberg mit einer Zunahme des Tourismusverkehrs. Dies vor allem im Winter, da hochgelegene Skigebiete wie jenes der BET als schneesicher gelten und in Anbetracht der Klimaerwärmung Schneesicherheit als eines der wichtigsten Kriterien für ein Skigebiet gilt. Somit ist zu vermuten, dass die verkehrsbedingte Luftbelastung in den kommenden Jahren zunehmen wird. Ein Teil dieser Zunahme kann durch die Elektrifizierung der Privatfahrzeuge abgefedert werden. Dem steht jedoch gegenüber, dass die EKL empfiehlt die Immissionsgrenzwerte in der LRV zu senken. Dadurch werden sie den Luftqualitätsrichtlinien der WHO angepasst, mit dem Ziel die gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung durch Luftbelastung zu minimieren. Die Anpassung der Immissionsgrenzwerte führt dazu, dass z. B. in Engelberg in 6 von 12 Monaten die NO₂-Belastung über dem Richtwert liegt (Abbildung 4).

Aufgrund der entgegengesetzten Entwicklungen von zunehmenden Tourismusverkehr und verschärften Luftqualitätsvorgaben besteht Handlungsbedarf, um die lokale Bevölkerung vor gesundheitsschädigender Luftbelastung zu schützen. Nachfolgend werden einige Massnahmen empfohlen, welche die Luftbelastung in Engelberg – sowie in anderen vergleichbaren Tourismusdestinationen – in Zukunft mindern und dem Sommer- und Wintertourismus ein umweltverträgliches Wachstum ermöglichen könnten:

- Vermehrte Verlagerung des Tourismusverkehrs auf öffentliche Verkehrsmittel wie z. B. die Bahn. Hier könnten zusätzliche Verbindungen zu Stosszeiten in der Wintersaison oder Kombi-Tickets Anreize für in- und ausländische Touristen setzen.
- Um die Russ- und Feinstaubemissionen aus Holzheizungen zu reduzieren, sollte geprüft werden, ob eine Förderung oder Vorschrift von Filteranlagen für Privathaushalte umsetzbar ist und ob Wärmeverbunde gefördert werden können.
- Durch die Schaffung von temporären Umweltzonen könnte der emissionsarme Verkehr gefördert werden und emissionsstarken Fahrzeugen die Zufahrt in die bewohnten Gebiete von Engelberg untersagt werden.

²³ „<https://www.ge.ch/document/air-stick-air-und-differenzierten-verkehr-genf-informations-auf-deutsch>“, 14. Mai 2025.

5. Anhang

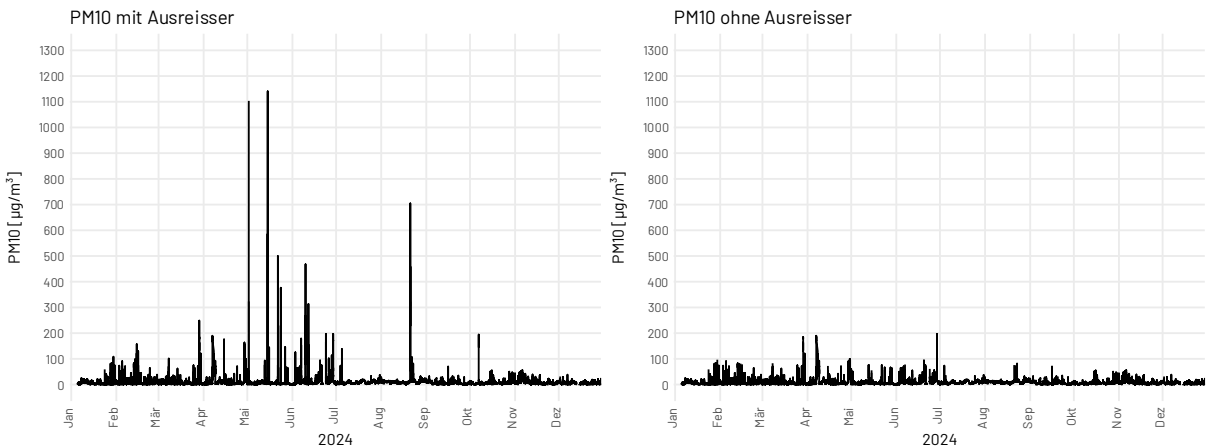


Abbildung A1: Der Datensatz der Feinstaubmessungen in Engelberg des Jahres 2024 bevor (links) und nachdem (rechts) die Ausreisser entfernt wurden. Die Ausreisser entstanden aufgrund der nahe gelegenen Baustelle. Die Auswahl der Ausreisser ist in Kapitel 2.2. beschrieben. Insgesamt wurden 70 Datenpunkte entfernt.

Tabelle A1: Jahresmittelwerte von PM10 in Engelberg im Jahr 2024 mit und ohne Ausreisser.

	PM10 [µg / m³]
Jahresmittelwert mit Ausreisser	9.7
Jahresmittelwert ohne Ausreisser	8.7

Tabelle A2: Jahresmittelwerte von NO₂ in Engelberg seit Beginn der Messreihe im Jahr 2008. Die Messungen stammen vom Passivsammler in Engelberg.

Jahr	NO ₂ [µg / m³] Jahresmittelwert
2008	19.9
2009	23.4
2010	24.1
2011	27.0
2012	22.6
2013	23.0
2014	23.0
2015	23.9
2016	22.5
2017	21.5
2018	19.2
2019	18.4
2020	15.6

2021	16.5
2022	15.7
2023	14.2
2024	13.7

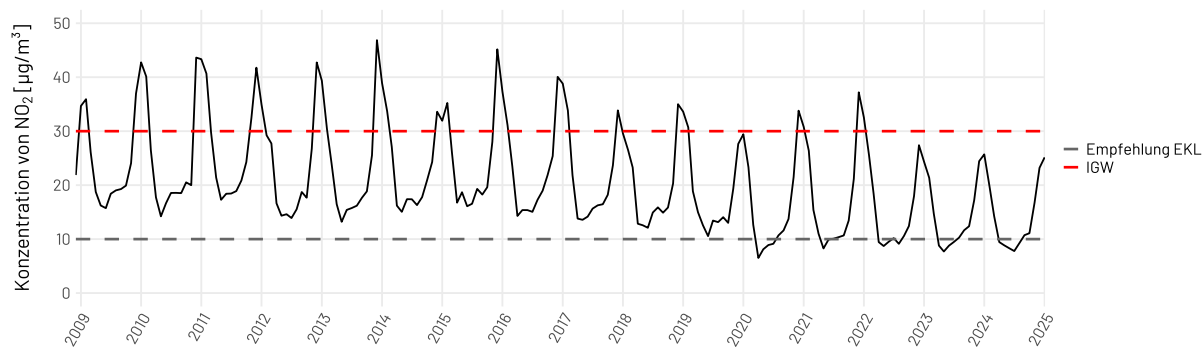


Abbildung A2: Monatsmittelwerte der NO₂ Konzentrationen am Standort des Passivsammlers in Engelberg. Gezeigt werden die Messwerte seit Beginn der Messreihe im Jahr 2008. Die rot gestrichelte Linie entspricht dem in der LRV festgelegten Jahres-Immissionsgrenzwert für NO₂. Die grau gestrichelte Linie entspricht dem von der EKL empfohlenen Jahresmittel-Richtwert von 10 µg/m³.