



# Karten von Jahreswerten der Luftbelastung in der Schweiz

Datengrundlagen, Berechnungsverfahren und  
Resultate bis zum Jahr 2023

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

**Meteotest AG**

📍 Fabrikstrasse 14  
3012 Bern, Schweiz

☎ +41 31 307 26 26  
📠 +41 31 307 26 10

✉ office@meteotest.ch  
🌐 www.meteotest.ch

## Impressum

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Auftraggeber                          | Bundesamt für Umwelt BAFU<br>Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien<br>3003 Bern<br>Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). |
| Auftragnehmer<br>Autor                | Meteotest AG<br>Thomas Künzle   |
| Datum<br>Aktuelle Version             | 01.07.2024<br>Schlussbericht  |
| Projektnummer<br>Datei                | bafu_karten_jahreswerte_23<br>luftbelastung_karten_jahreswerte23_schweiz.docx   |
| Kontrolliert durch<br>Genehmigt durch | 28.06.2024   Beat Rihm<br>01.07.2024   Thomas Künzle  |
| Hinweis                               | Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.   |

# Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Ausgangslage</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Datengrundlagen</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Entwicklung der Luftbelastung</b> .....                            | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>Methodik zur Berechnung der Karten der Jahreswerte</b> .....       | <b>8</b>  |
| 4.1      | Feinstaub (PM10, PM2.5) und Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ) ..... | 8         |
| 4.2      | Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ) .....                               | 9         |
| 4.3      | Ozon (Maximale monatliche 98-Perzentil-Werte) .....                   | 9         |
| 4.4      | Ozon-Exposition für Wald (AOT40f) .....                               | 10        |
| 4.5      | Zusammenfassung der verwendeten Interpolationsparameter .....         | 11        |
| <b>5</b> | <b>Karten von Jahreswerten der Luftbelastung</b> .....                | <b>12</b> |
| 5.1      | Bevölkerungsexposition .....  | 15        |
| <b>6</b> | <b>Weitere Karten von Jahreswerten der Luftbelastung</b> .....        | <b>16</b> |
| 6.1      | Ammoniak.....   | 16        |
| 6.2      | Stickstoff-Deposition .....   | 17        |
| 6.3      | Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff.....               | 18        |
| <b>7</b> | <b>Literatur</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>A</b> | <b>Anhang</b> .....   | <b>21</b> |
| A.1      | Stationslisten .....  | 21        |

# Tabellen

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabelle 1: | Zusammenfassung der verwendeten Interpolationsparameter pro Schadstoff. ....  | 11 |
| Tabelle 2: | Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (PM10, PM2.5 und NO <sub>2</sub> ). Die Spalte "Zone" ist nur relevant für PM10 und NO <sub>2</sub> bis zum Jahr 2019. NV = Daten wurden nicht verwendet für Kartenberechnung..... | 21 |
| Tabelle 3: | Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (PM10, PM2.5 und NO <sub>2</sub> ; Fortsetzung).....   | 22 |
| Tabelle 4: | Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (SO <sub>2</sub> , MP98 und AOT40f). ....  | 23 |
| Tabelle 5: | Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (SO <sub>2</sub> , MP98 und AOT40f; Fortsetzung).....  | 24 |
| Tabelle 6: | Anzahl berücksichtigte Messstationen pro Jahr und Schadstoff...25   |    |

## Abbildungen

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1986–2023 (BAFU, 2024). ..   | 7  |
| Abbildung 2: Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ), Jahresmittelwerte 1986–2023 (BAFU, 2024). ..  | 7  |
| Abbildung 3: Entwicklung der maximalen monatlichen 98-Perzentil-Werte (Ozon) 1989–2023 (BAFU, 2024). ..                                 | 7  |
| Abbildung 4: Karte Feinstaub (PM10): Jahresmittel 2023. ....  | 12 |
| Abbildung 5: Karte Feinstaub (PM2.5): Jahresmittel 2023. ....   | 12 |
| Abbildung 6: Karte Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ): Jahresmittel 2023. ....   | 13 |
| Abbildung 7: Karte Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ): Jahresmittel 2023. ....   | 13 |
| Abbildung 8: Karte Ozon Maximale monatliche 98-Perzentil-Werte 2023. ....   | 14 |
| Abbildung 9: Karte Ozon-Exposition für Wald (AOT40f) 2023. ....   | 14 |
| Abbildung 10: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte von PM10, PM2.5, NO <sub>2</sub> und SO <sub>2</sub> in den Jahren 1980 bis 2023. .... | 15 |
| Abbildung 11: Karte Ammoniak: Jahresmittel 2020. ....   | 16 |
| Abbildung 12: Karte Stickstoff-Deposition 2020. ....  | 17 |
| Abbildung 13: Karte Übermässige Stickstoff-Deposition 2020. ....  | 18 |

# 1 Ausgangslage

Meteotest hat im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) Karten der Jahreswerte in der Schweiz für die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und Ozon (AOT40f, MP98) für die Jahre ab 1990, für PM10 ab 1998, für PM2.5 ab 2015 sowie für SO<sub>2</sub> ab 1980 erstellt<sup>1</sup>. Dieser Bericht dokumentiert den aktuellen Stand der Berechnung für diese Kartenserien in den Kapiteln 2 bis 5.

Die Konzentrationskarte für Ammoniak (NH<sub>3</sub>), die Stickstoff-Depositionskarte und die Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff (übermässige Stickstoff-Deposition) wurden im Jahre 2022 aktualisiert, siehe Kapitel 6. Sie liegen für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 vor.

# 2 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen zur Verfügung:

- Die gemessenen **Jahreswerte von Luftschadstoffen** in der Schweiz aus den Messnetzen von Städten, Kantonen und des Bundes wurden aus der Datenbank des BAFU bezogen<sup>2</sup>. Die SO<sub>2</sub>-Karten werden mit ergänzten Zeitreihen modelliert (siehe Tabelle 4).
- **Digitales Höhenmodell** (Datensatz in Hektarauflösung, BfS GEOSTAT).
- Ergebnisse der Modellierung für PM10 (FOEN, 2013; INFRAS/Meteotest, 2020), PM2.5 (INFRAS/Meteotest, 2020), NO<sub>2</sub> (FOEN, 2011; INFRAS/Meteotest, 2020) und SO<sub>2</sub> (INFRAS/ Meteotest, 2013). Diese Karten werden in diesem Bericht als "**Basiskarten**" bezeichnet.
- **Temperaturkarten** (Monatsmittel), welche basierend auf Messungen der MeteoSchweiz (SwissMetNet) mit einer inversen Distanz-Methode interpoliert wurden. Die Details zur Methode sind im Bericht Remund et al. (2011) beschrieben.

---

<sup>1</sup> <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--historische-daten/karten-jahreswerte.html> [17.06.2024]

<sup>2</sup> <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--historische-daten/datenabfrage-der-jahreswerte-von-luftschadstoffen-in-der-schweiz.html> [17.06.2024]  
Da die Aktualisierung dieser Datenbank jeweils erst gegen Sommer realisiert ist, wurden die Messdaten des Jahres 2023 durch das BAFU bereits im Juni 2024 zugestellt, damit die Karten rechtzeitig in den Jahresbericht des NABEL (Luftqualität 2023) integriert werden können.

## 3 Entwicklung der Luftbelastung

### Feinstaub (PM10)

Die PM10-Belastung ist in den letzten Jahren generell zurückgegangen. Die an den einzelnen Stationen des NABEL gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 1 in Gruppen mit ähnlicher Luftbelastung zusammengefasst. Die Werte vor 1997 wurden aus TSP<sup>3</sup>-Messungen berechnet. Für weitere Erläuterungen zur zeitlichen Entwicklung der Luftbelastung wird auf den Jahresbericht des NABEL<sup>4</sup> verwiesen.

### Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

An allen Standorten hat die Konzentration von Stickstoffdioxid in den letzten Jahrzehnten abgenommen. Nur an verkehrsexponierten Messstandorten werden der Jahresmittelgrenzwert noch überschritten. Die an den einzelnen Stationen des NABEL gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 2 in Gruppen mit ähnlicher Luftbelastung zusammengefasst.

### Ozon (Maximale monatliche 98-Perzentil-Werte)

Die Entwicklung der maximalen monatlichen 98-Perzentil-Werte ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Werte liegen durchwegs über dem Grenzwert gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV, 1985).

### Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Die Belastung der Luft durch Schwefeldioxid hat seit 1985 deutlich abgenommen. Von 2000 bis 2015 wurden weitere Abnahmen festgestellt und seitdem verharren die Jahresmittelwerte auf sehr geringem Niveau und deutlich unter dem Grenzwert gemäss Luftreinhalte-Verordnung.

---

<sup>3</sup> total suspended particulates

<sup>4</sup> <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--historische-daten/jahres--und-monatsberichte-nabel.html> [17.06.2024]

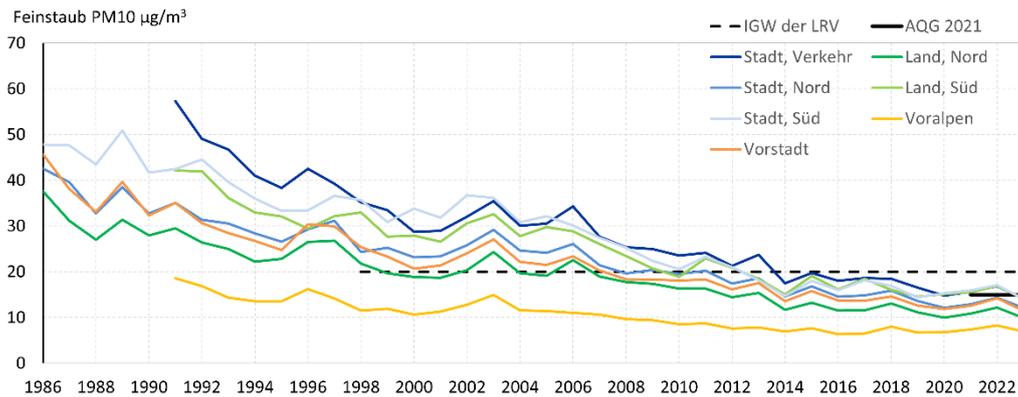


Abbildung 1: Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1986–2023 (BAFU, 2024).

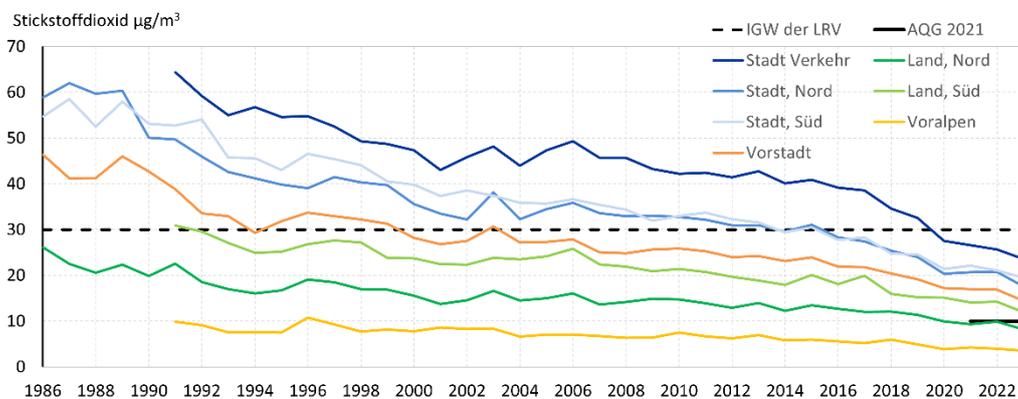


Abbildung 2: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Jahresmittelwerte 1986–2023 (BAFU, 2024).

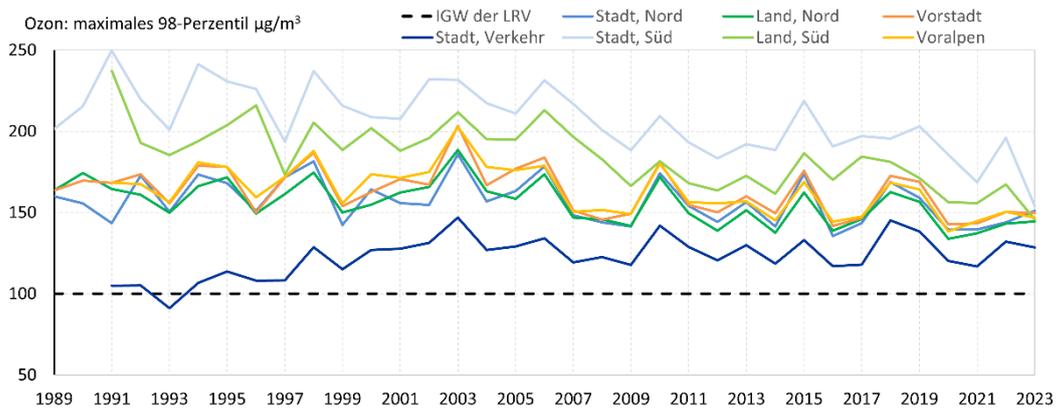


Abbildung 3: Entwicklung der maximalen monatlichen 98-Perzentil-Werte (Ozon) 1989–2023 (BAFU, 2024).

## 4 Methodik zur Berechnung der Karten der Jahreswerte

### 4.1 Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

Die gemessenen Jahresmittelwerte aller Messstationen wurden vom BAFU geliefert. Einzelne Stationen wurden für die Berechnung der Karten von Jahreswerten aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt (z.B. Standorte sehr nahe an Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen).

Als Basiskarten standen modellierte PM<sub>10</sub>-Karten (FOEN, 2013) und NO<sub>2</sub>-Karten (FOEN, 2011) zur Verfügung. Diese Basiskarten (200 m-Auflösung) wurden für die Karten der Jahreswerte bis 2019 verwendet. Nach Vorliegen der aktualisierten PolluMap-Modellkarten (INFRAS/Meteotest, 2020) wurden die Karten der Jahreswerte ab 2020 mit den Basiskarten 2015 berechnet. Zu diesem Zweck wurden die 20 m-Rasterdaten aus dem PolluMap-Modell auf 100 m gemittelt.

Die Berechnung der Karten der Jahreswerte beruht auf einem Interpolationsverfahren (inverse-distance-weighting, IDW), in dem die Basiskarten an die im betreffenden Jahr gemessenen PM<sub>10</sub>-Werte angepasst wurden. Das Gebiet der Schweiz wurde dazu in verschiedene Zonen unterteilt:

- Nordschweiz inkl. Wallis unterhalb 1'000 m ü. M.
- Südschweiz (Tessin und Misox) unterhalb 1'000 m ü. M.
- Gebiet über 1'000 m ü. M. in der gesamten Schweiz

Die Messwerte an den berücksichtigten Stationen wurden nicht direkt räumlich interpoliert, sondern es wurde für jede Station ein Quotient aus dem Messwert und dem Wert aus der Basiskarte gebildet.

Diese Quotienten wurden räumlich interpoliert und anschliessend für jede Rasterzelle wieder mit dem Wert aus der Basiskarte multipliziert. Die Interpolation wurde mit einer Distanzgewichtung von  $1/d^{0.5}$  jeweils für die gesamte Schweiz durchgeführt ( $d$  = dreidimensionaler Abstand zur Messstation), bei NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> wurden nur die 20 nächstgelegenen Stationen berücksichtigt. Es wurde eine Höhengewichtung von 100 (500 für Gebiet oberhalb 1'000 m ü. M.) angewendet. Die Höhengewichtung beschreibt, wie Höhendifferenzen zwischen der Station und der betrachteten Zelle im Verhältnis zur horizontalen Distanz bei der Berechnung von  $d$  gewichtet werden.

Die drei Zwischenresultate (je eine Karte pro Zone) wurden anschliessend zu den definitiven Karten der Jahreswerte zusammengefügt, indem zwischen 500 und 1'000 m ein linearer Übergang von den beiden Karten für die Nord- und Südschweiz unterhalb 1'000 m in die Karte der Gesamtschweiz über 1'000 m gerechnet wurde. Die Karten wurden auf einem 200 m-Raster berechnet.

Im Jahr 2022 wurden folgende Aktualisierungen umgesetzt: Die PM<sub>2.5</sub>-Karten wurden hinzugefügt (ab 2015 in 100 m-Auflösung). Auf eine separate Berechnung für verschiedene Zonen konnte ab dem Jahr 2020 (resp. PM<sub>2.5</sub> ab 2015) verzichtet werden, weil die neueste PolluMap-Modellkarten die Höhengradienten der Luftbelastung wesentlich besser abbilden können als die früheren Modellversionen. Ab dem Jahr 2020 sind alle weiteren Karten (ausser NO<sub>2</sub>) in 100 m-Rastern dargestellt. NO<sub>2</sub> wird mit einer Auflösung von 20 m ab 2020 dargestellt. Die Quotienten wurden räumlich interpoliert mit einer Basiskarte in 100 m-Auflösung und anschliessend mit der PolluMap-Karte des Jahres 2015 in 20 m-Auflösung multipliziert.

## 4.2 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Die Berechnung der Karten der Jahreswerte beruht auf einem ähnlichen Interpolationsverfahren, wie es für Feinstaub und Stickstoffdioxid beschrieben ist. Die Quotienten (Messung / Basiskarte) wurden bei SO<sub>2</sub> räumlich interpoliert (wobei keine Unterscheidung in verschiedene Zonen und Höhenschichten erfolgten) und anschliessend für jede Rasterzelle wieder mit dem Wert aus der modellierten Karte multipliziert. Die Interpolation wurde mit einer Distanzgewichtung von  $1/d$  durchgeführt ( $d$  = Abstand zur Messstation), wobei jeweils die zehn nächstgelegenen Stationen im Umkreis von 75 km berücksichtigt wurden.

Als Basiskarten standen modellierte Karten der Jahre 1980, 1990, 2000 und 2010 (INFRAS/Meteotest, 2013) zur Verfügung. Im Gegensatz zum Verfahren beim PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> wurde für die Zwischenjahre jeweils eine Karte aus der davor und danach liegenden Basiskarte interpoliert. Für die Jahre ab 2011 wurde die Modellkarte von 2010 unverändert übernommen, da keine aktuelleren Modellkarten zur Verfügung stehen.

Die Karten wurden auf einem 200 m-Raster berechnet, ab 2020 in 100 m-Auflösung.

## 4.3 Ozon (Maximale monatliche 98-Perzentil-Werte)

Die aufbereiteten Messwerte (MP98) wurden mit einem geo-statistischen Ansatz im geografischen Informationssystem auf einem Raster von 200 m, ab 2020 mit 100 m räumlich interpoliert:

- Zuerst wurden statistische Beziehungen zwischen den gemessenen Ozonbelastungs-Indizes und flächendeckend vorhandenen Informationen, wie etwa Temperatur, Globalstrahlung, Höhe etc. gesucht. Diese erklärenden Parameter sollten für die gesamte Zeitreihe angewendet werden können.
- Die besten Ergebnisse wurden mit der mittleren Temperatur der Sommermonate Juni bis August erzielt.

- Mit diesem erklärenden Parameter wurde für jedes Jahr eine Regressionsgleichung berechnet, welche die Beziehung zwischen flächendeckendem Parameter und den Werten an den Messpunkten beschreibt.
- Die Berechnung der Ozonkarten wurde ausschliesslich mit Hintergrundstationen durchgeführt.
- Anschliessend wurden die punktförmigen Messungen auf Rasterbasis in die Fläche ausgedehnt, indem für jede Rasterzelle mit den für jedes Jahr ermittelten Regressionsgleichungen die Ozon-Indizes gerechnet wurden. Dieser Rasterdatensatz wird Regressionsfläche genannt.
- An den Messstationen wurde der gemessene Wert mit dem berechneten verglichen und die Abweichung (Residuum) berechnet. Diese punktbezogenen Residuen wurden mit der Methode des inverse-distance-weighting (IDW) flächendeckend interpoliert. Der Einfluss einer Messstation nimmt dabei mit dem Verhältnis von  $1/d^{0.5}$  ab ( $d$  = Distanz zur Messstation).
- Anschliessend wurden auf jeder Rasterzelle der Wert aus der Regressionsgleichung und der Wert des interpolierten Residuums addiert. Durch diese Residuenkorrektur "laufen" die Ozonkarten an den Messstationen recht genau durch die Messwerte (Künzle & Rihm, 1997; CCE, 1997). Residuen, die mehr als  $\pm 80$  % des Messwerts betragen, wurden in der Interpolation nicht berücksichtigt, um starke Ausreisser zu eliminieren. An den entsprechenden Stationen verbleiben deshalb Abweichungen zwischen Messwert und Modell.

Der Anteil der erklärbaren Varianz ( $R^2$ ) ist zum Teil deutlich kleiner als 50 %. Dank der Residuenkorrektur geben die Modellkarten in der Nähe der Messstationen das an den Stationen gemessene Belastungsniveau gut wieder. Abseits der Messstationen sind die Unsicherheiten grösser.

Die Karten wurden auf einem 200 m-Raster, ab 2020 im 100 m-Raster berechnet.

#### 4.4 Ozon-Exposition für Wald (AOT40f)

Der AOT40f-Wert beschreibt die kumulierte Ozonbelastung oberhalb des Grenzwertes von 40 ppb (**A**ccumulated **O**zone **E**xposure over a **T**hreshold of 40 ppb).

Die Berechnung der AOT40f-Karten für Wald beruht auf einem ähnlichen Interpolationsverfahren, wie es für Feinstaub und Stickstoffdioxid beschrieben ist (vgl. Kapitel 4.1). Es wurden jedoch nicht mehrere Höhenschichten modelliert. Die Distanzfunktion wurde auf  $1/d$  festgelegt.

Als Grundlage für die Basiskarte wurde die AOT40f-Karte des Jahres 2006 mit einer horizontalen Auflösung von  $0.083 \times 0.0417$  Grad des Paul Scherrer Instituts (PSI) verwendet (Aksoyoglu et al., 2014). Meteotest hat verschiedene Methoden getestet, um daraus eine Basiskarte mit 200 m-Auflösung zu generieren. Zum

Einsatz kam schlussendlich die Methodik des inverse-distance-weighting mit einer Distanzgewichtung von  $1/d$ , unter Berücksichtigung der 16 nächsten Stützpunkte der PSI-Karte. Zudem wurde jede Rasterzelle über ein Gebiet von  $3 \times 3$  km gemittelt.

Es wurden ausschliesslich Hintergrundstationen verwendet. Die AOT40f-Karten wurden auf einem 200 m-Raster, ab 2020 im 100 m-Raster berechnet.

## 4.5 Zusammenfassung der verwendeten Interpolationsparameter

Tabelle 1: Zusammenfassung der verwendeten Interpolationsparameter pro Schadstoff.

| Schadstoff                      | Methode   | Distanz-, Höhen-gewichtung     | Basiskarte   |
|---------------------------------|---|--------------------------------|--|
| PM10 (bis 2019)                 | IDW in 3 Zonen  | $1/d^{0.5}$ , 100/500          | FOEN, 2013 (Jahr 2010)<br>INFRAS/Meteotest, 2020 (Jahr 2015) |
| NO <sub>2</sub> (bis 2019)      | IDW in 3 Zonen  | $1/d^{0.5}$ , 100/500          | FOEN, 2011 (Jahr 2010)<br>INFRAS/Meteotest, 2020 (Jahr 2015) |
| PM10, NO <sub>2</sub> (ab 2020) | IDW   | $1/d^{0.5}$ , 100 <sup>5</sup> | INFRAS/Meteotest, 2020 (Jahr 2015)                           |
| PM2.5 (ab 2015)                 | IDW   | $1/d^{0.5}$ , 100              | INFRAS/Meteotest, 2020 (Jahr 2015)                           |
| SO <sub>2</sub>                 | IDW   | $1/d$ , keine                  | INFRAS/Meteotest, 2013 (Jahr 2010)                           |
| MP98                            | Regressionsanalyse mit Temperaturmittel Juni–August und IDW | $1/d^{0.5}$ , keine            | -  |
| AOT40f                          | IDW   | $1/d$ , 100                    | Aksoyoglu et al., 2014                                       |

<sup>5</sup> Die Höhengewichtung ist nicht mehr notwendig und sinnvoll, weil die aktualisierten PolluMap-Karten die Höhengradienten sehr viel besser abbilden, als die früheren Modell-Basiskarten.

## 5 Karten von Jahreswerten der Luftbelastung

Die folgenden Abbildungen zeigen für jeden Schadstoff die aktuellste Version. Die vollständigen Zeitreihen sind auf der Webseite des BAFU<sup>6</sup> abrufbar.

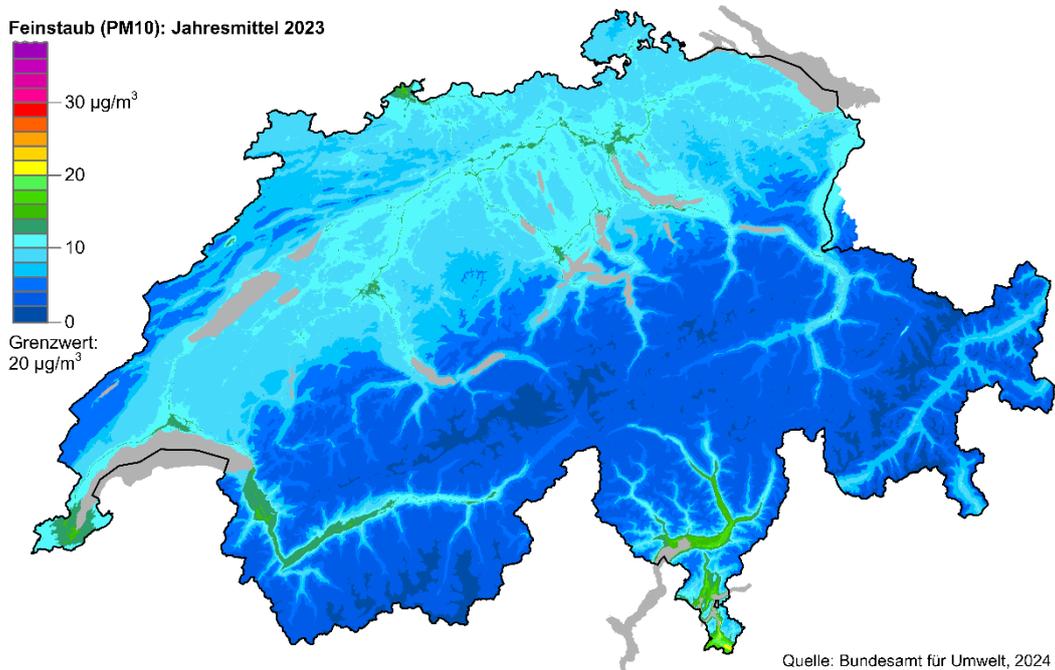


Abbildung 4: Karte Feinstaub (PM10): Jahresmittel 2023.

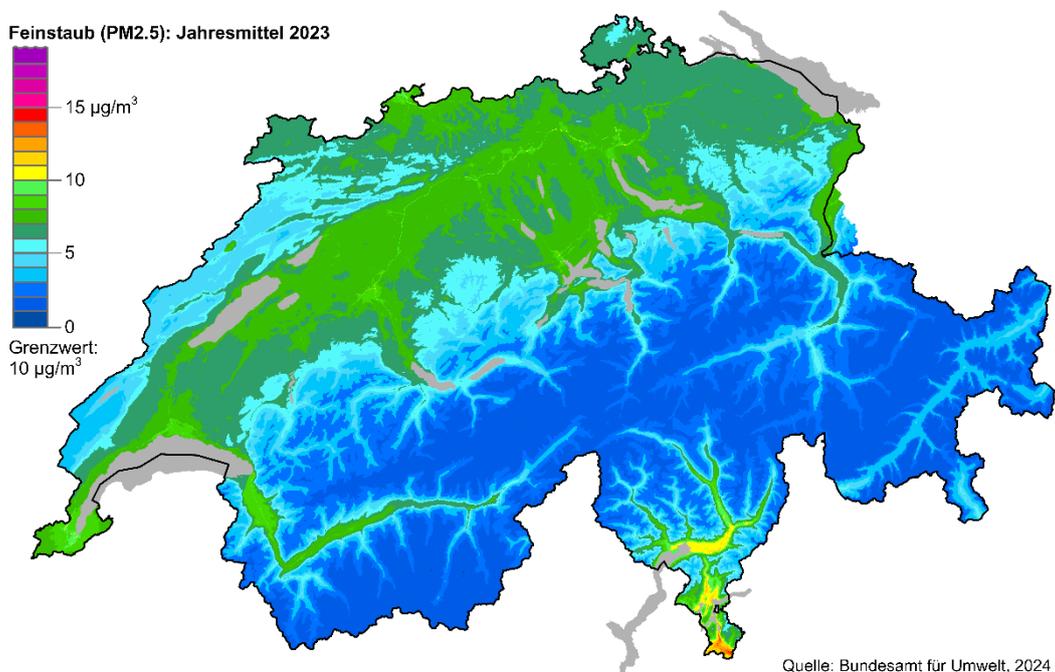


Abbildung 5: Karte Feinstaub (PM2.5): Jahresmittel 2023.

<sup>6</sup> <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--historische-daten/karten-jahreswerte.html> [17.06.2024]

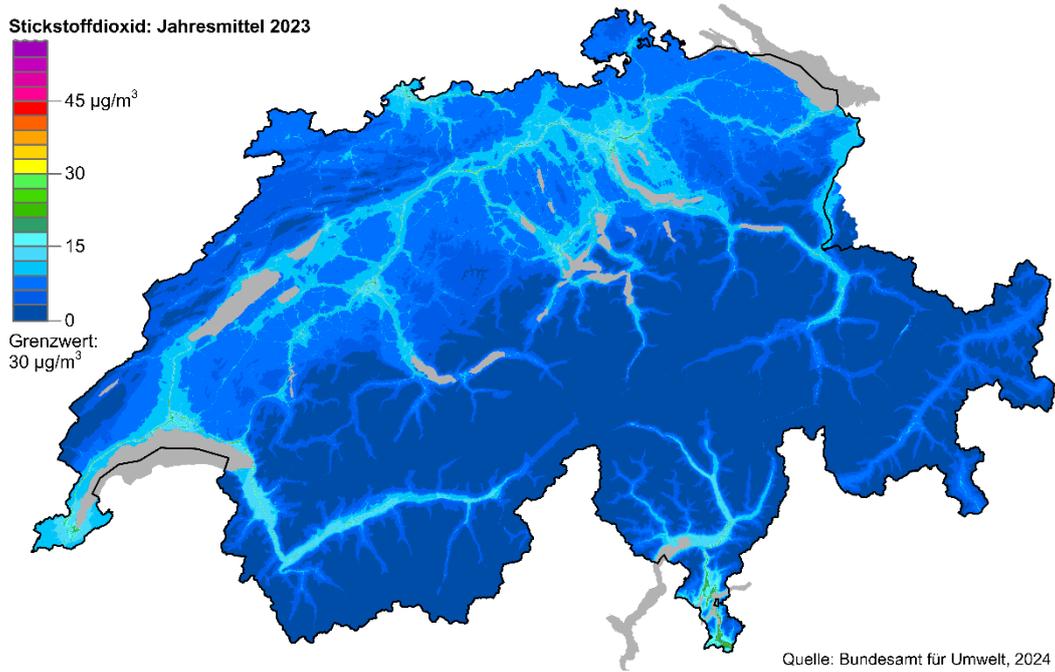


Abbildung 6: Karte Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>): Jahresmittel 2023.

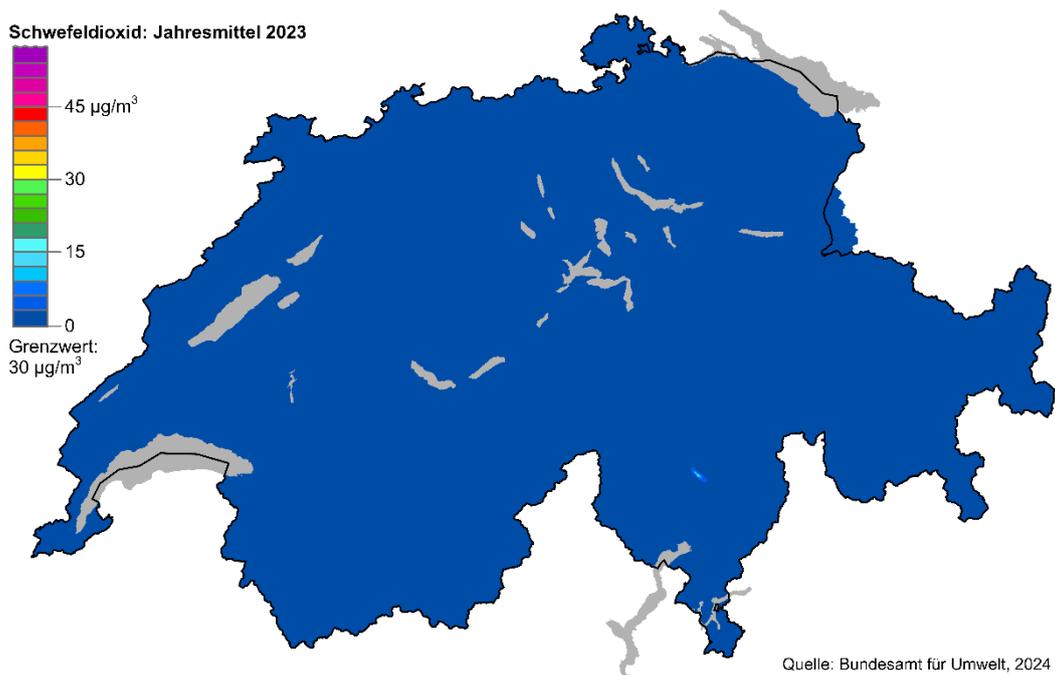


Abbildung 7: Karte Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>): Jahresmittel 2023.

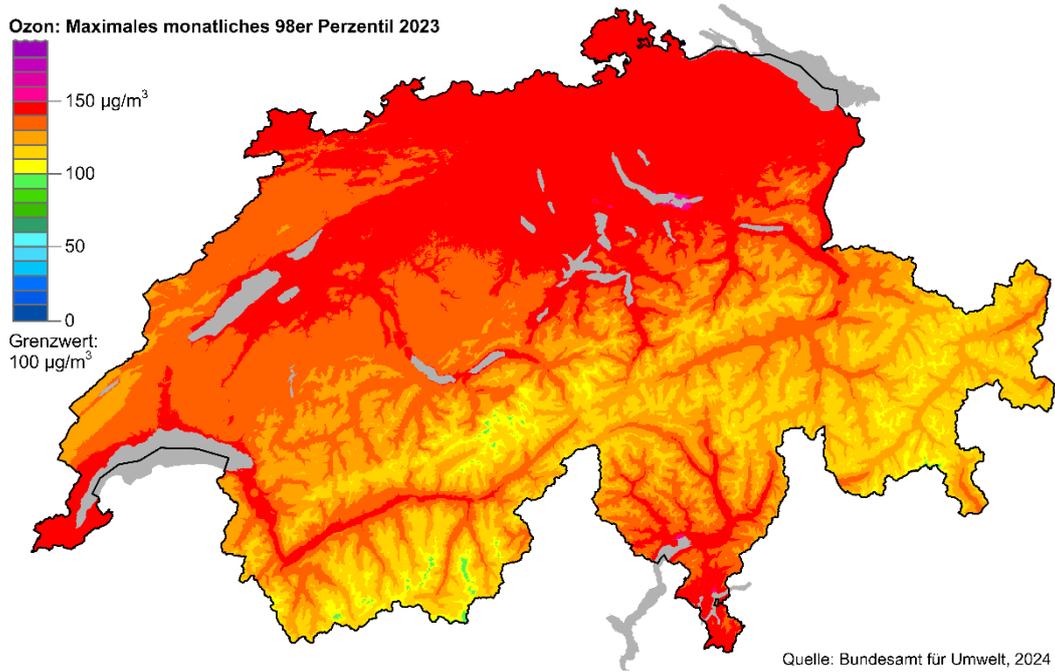


Abbildung 8: Karte Ozon Maximale monatliche 98-Perzentil-Werte 2023.

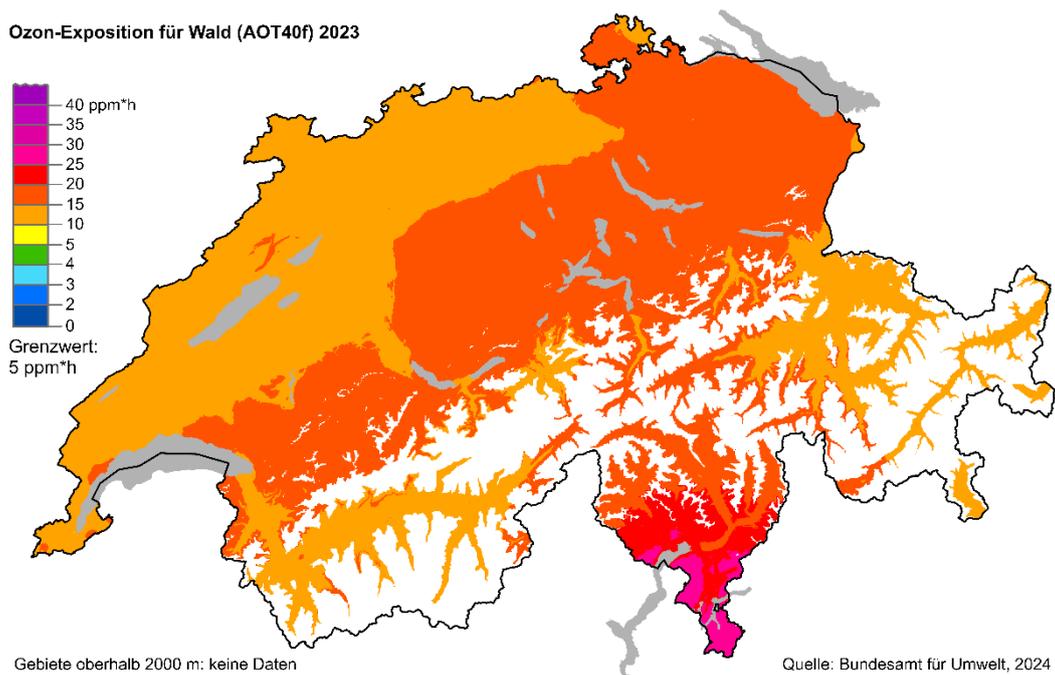


Abbildung 9: Karte Ozon-Exposition für Wald (AOT40f) 2023.

## 5.1 Bevölkerungsexposition

Der bevölkerungsgewichtete Mittelwert der PM10-Konzentration, definiert als

$$\langle c \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N c_i \cdot EW_i}{\sum_{i=1}^N EW_i}, \quad i \text{ läuft über alle Hektaren der Schweiz}^7$$

- $\langle c \rangle$  bevölkerungsgewichteter Mittelwert der PM10-Konzentration
- $c_i$  PM10-Konzentration in der Hektare  $i$
- $E_i$  Anzahl Einwohner in der Hektare  $i$

$\langle c \rangle$  gibt an, welcher durchschnittlichen PM10-Konzentration die Schweizer Bevölkerung ausgesetzt ist. Dieser Wert spielt in der Sozial- und Präventivmedizin eine wichtige Rolle. Die bevölkerungsgewichteten Mittelwerte von PM2.5, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> wurden analog berechnet.

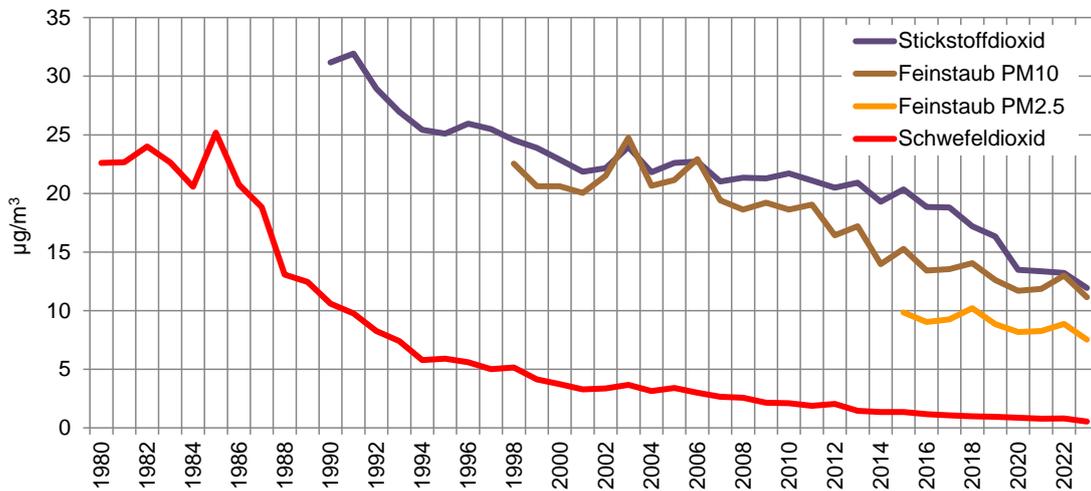


Abbildung 10: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte von PM10, PM2.5, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> in den Jahren 1980 bis 2023.

<sup>7</sup> Anzahl Einwohner pro Hektare aus der Volkszählung 2010, ab 2015 die Volkszählung 2015, ab 2020 die Volkszählung 2020.

## 6 Weitere Karten von Jahreswerten der Luftbelastung

Die Karten für Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Stickstoff-Deposition und Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff (CLN) wurden in einem separaten Projekt (Rihm und Künzle 2023) für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 berechnet.

### 6.1 Ammoniak

Die zu Grunde liegenden Emissionskataster beruhen auf den landwirtschaftlichen Betriebszählungen des Bundesamtes für Statistik (Nutztierzahlen und geocodierte Standorte der Landwirtschaftsbetriebe), der Arealstatistik (Bodennutzung BFS/GEOSTAT) und weiteren Input-Daten (Gemeindegrenzen von swisstopo, Naturschutzinventare BAFU). Die Emissionsfaktoren wurden im Rahmen des Agrammon-Projektes (Kupper et al., 2022) berechnet. Für die Jahre 2015 und 2020 wurden zusätzliche Daten zu Sömmerungsbetrieben und Hofdüngerflüssen des Bundesamtes für Landwirtschaft verwendet.

Die Ammoniak-Karte wurde mit einer räumlichen Auflösung von 100 x 100 m berechnet (Rihm und Künzle 2023) und wurde für die Darstellung in Abbildung 11 auf 500 x 500 m gemittelt.

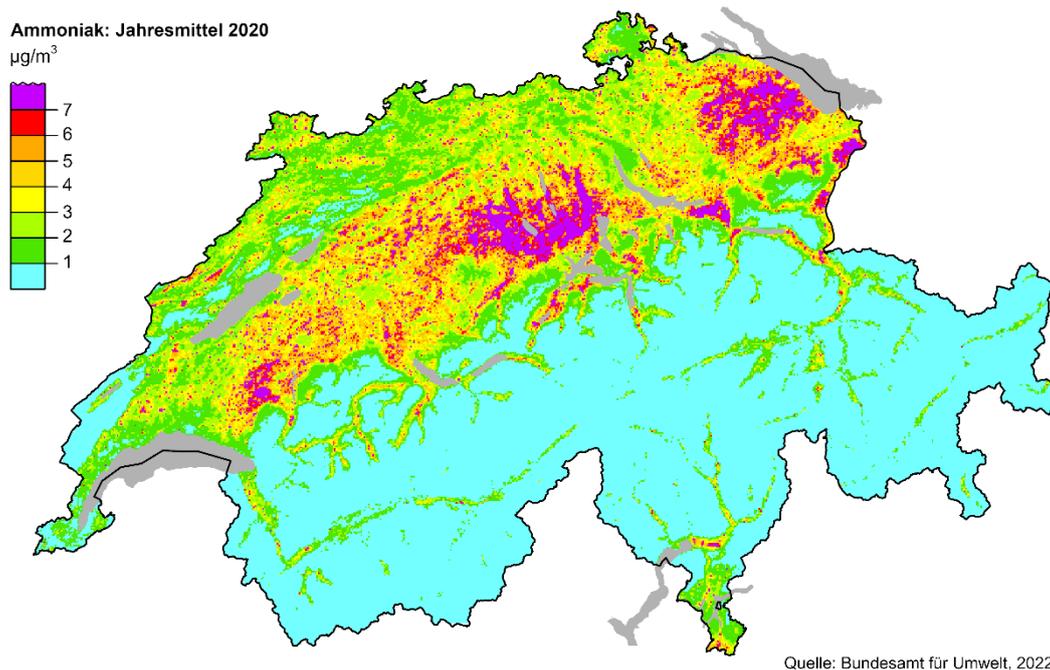


Abbildung 11: Karte Ammoniak: Jahresmittel 2020.

## 6.2 Stickstoff-Deposition

Das Berechnungsmodell basiert auf verschiedenen Input-Karten ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , Niederschlagsmengen, Topografie) und arbeitet mit relativ einfachen Methoden (Widerstandsanalogie-Modell). Die wichtigsten Depositionsprozesse (nass, staubförmig, gasförmig) wurden separat modelliert und schliesslich zum Gesamteintrag zusammengefügt. Der Vergleich mit verschiedenen Messungen und mit der Gesamtdposition Schweiz von EMEP zeigte, dass das Modell in der Lage ist, eine plausible, quantitative Schätzung des Depositionsmusters in der Schweiz zu liefern (Rihm und Künzle 2023).

Die Depositionskarte wurde mit einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km berechnet.

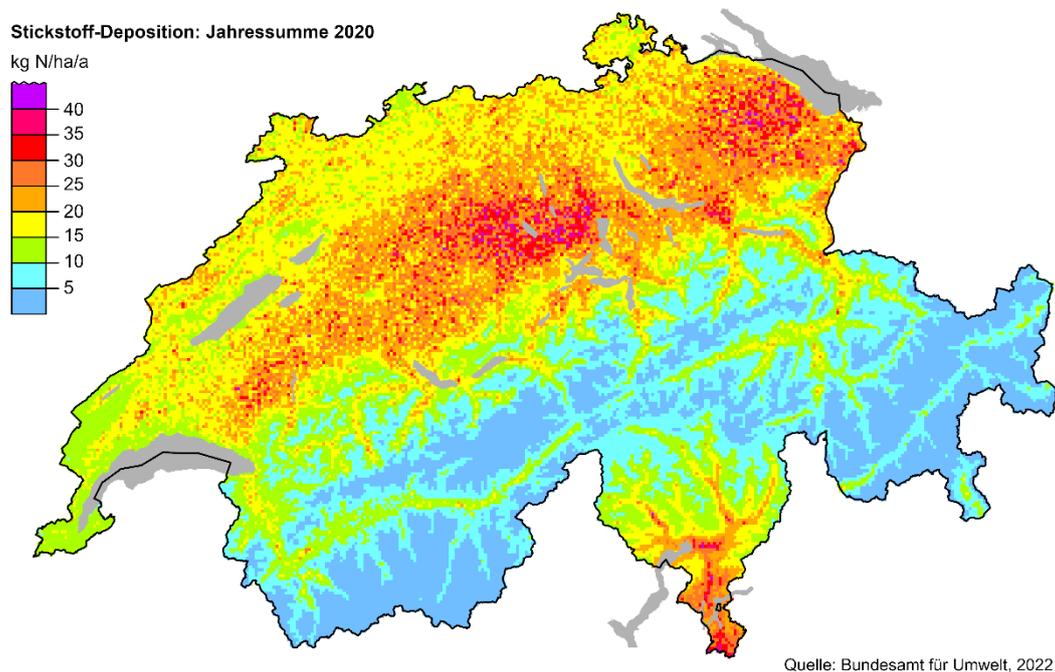


Abbildung 12: Karte Stickstoff-Deposition 2020.

### 6.3 Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff

Der Critical Load (kritischer Eintragswert) ist definiert als quantitative Schätzung desjenigen Stickstoff-Eintrages, unterhalb welchem nach heutigem Wissen keine schädlichen Auswirkungen auf Funktion und Struktur des Ökosystems auftreten. Die Überschreitung (auf Englisch wird der Ausdruck Exceedance gebraucht) der Critical Loads wird als Differenz von Deposition und Critical Load berechnet.

Die Karte ist eine Kombination verschiedener naturnaher Ökosysteme, die empfindlich auf Stickstoff-Einträge reagieren: Wälder, Hochmoore, Flachmoore, Trockenwiesen und alpine Vegetation. Für jeden Ökosystem-Typ wurden die Critical Loads berechnet und kartiert, die Stickstoff-Einträge modelliert und damit die Überschreitung des Critical Load ermittelt. Die Karte (Abbildung 13) zeigt pro Quadratkilometer die höchste Überschreitung aller dort vorkommenden Ökosysteme. Die Methodik und weitere Informationen sind in einem Bericht dokumentiert (Rihm und Künzle 2023). Die berechneten Stickstoff-Einträge 2020 übersteigen die Critical Loads auf etwa 67 % der kartierten empfindlichen Ökosysteme. Dies bedeutet ein Langzeitrisiko für Veränderungen in den betroffenen Ökosystemen, die sich nachteilig auf Stabilität und Biodiversität auswirken.

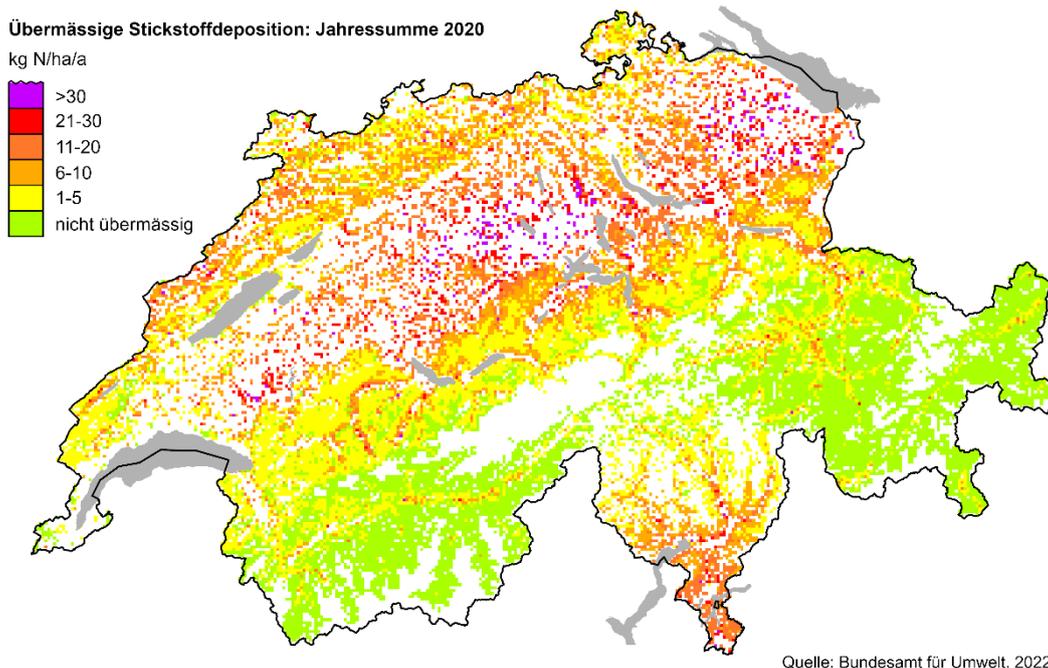


Abbildung 13: Karte Übermässige Stickstoff-Deposition 2020.

## 7 Literatur

- Aksoyoglu S., Keller J., Ciarelli G., Prévôt A. S. H., Baltensperger U., 2014: A model study on changes of European and Swiss particulate matter, ozone and nitrogen deposition between 1990 and 2020 due to the revised Gothenburg protocol. In: Atmos. Chem. Phys., 14, 13081-13095, 2014. <http://www.atmos-chem-phys.net/14/13081/2014/acp-14-13081-2014.html> [04.06.2024]
- BAFU, 2024: Zeitlicher Verlauf der Luftqualität an den NABEL-Stationen. Lieferung der Abbildungen per E-Mail von Michael Schibig vom 04.06.2024
- FOEN, 2011: NO<sub>2</sub> ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2015. Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies no. 1123. INFRAS/Meteotest. [04.06.2024, Link nicht mehr verfügbar]
- FOEN, 2013: PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2020. Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies no. 1301. INFRAS/Meteotest. [04.06.2024, Link nicht mehr verfügbar]
- INFRAS/Meteotest, 2013: SO<sub>2</sub>-Immissionen Schweiz. Modellierung 1980 – 2010. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, BAFU.
- INFRAS/Meteotest, 2020: NO<sub>2</sub>-, PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2.5</sub>-Immissionen Schweiz / Liechtenstein. Aktualisierung des PolluMap-Modells für 2015, 2020 und 2030. Technischer Bericht im Auftrag des BAFU. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html> [04.06.2024]
- Künzle T., Rihm B., 1997: Ozone Mapping in Alpine Regions – Experiences and Data Analysis Regarding Ozone Modelling by EMEP. In: Proceedings of EMEP Workshop on the Control of Photochemical Oxidants over Europe. Environmental Documentation No. 47, Air, BUWAL, Bern. p. 89–96.
- Kupper T., Häni C., Bretscher D., Zaucker F., 2022: Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 bis 2020. Bericht im Auftrag des BAFU. <https://agrammon.ch/de/downloads> [04.06.2024]
- LRV, 1985: Luftreinhalte-Verordnung (LRV) der Schweiz vom 16. Dezember 1985, Stand 1. Januar 2024. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftqualitaet-in-der-schweiz/grenzwerte-fuer-die-luftbelastung/immissionsgrenzwerte-der-luftreinhalte-verordnung--lrv-.html> <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html> [04.06.2024]

- Remund J., Frehner, M., Walthert, L., Kägi, M., Rihm, B., 2011: Schätzung standortspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern. Schlussbericht/Version 2.3. Auftraggeber WSL, Forschungsprogramm "Wald und Klimawandel". 56 S.  
<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/155802>  
[04.06.2024]
- Rihm B., Künzle T., 2023: Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990–2020. Meteotest, Bern, commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN).  
[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-bericht-Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990%E2%80%932020 final%20\(1\).pdf.download.pdf/Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990%E2%80%932020 final%20\(1\).pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-bericht-Nitrogen%20deposition%20and%20exceedances%20of%20critical%20loads%20for%20nitrogen%20in%20Switzerland%201990%E2%80%932020%20final%20(1).pdf.download.pdf/Nitrogen%20deposition%20and%20exceedances%20of%20critical%20loads%20for%20nitrogen%20in%20Switzerland%201990%E2%80%932020%20final%20(1).pdf) [04.06.2024]

# A Anhang

## A.1 Stationslisten

Tabelle 2: Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (PM10, PM2.5 und NO<sub>2</sub>). Die Spalte "Zone" ist nur relevant für PM10 und NO<sub>2</sub> bis zum Jahr 2019. NV = Daten wurden nicht verwendet für Kartenberechnung.

| Code  | Station                   | Höhe | Zone | Zonentyp     | Stationstyp | PM10<br>2023 | PM10<br>NV | PM2.5<br>2023 | PM2.5<br>NV | NO2<br>2023 | NO2<br>NV |
|-------|---------------------------|------|------|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|-------------|-------------|-----------|
| agAAR | Aarau-Buchenhof           | 398  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 11.9         |            | 8.4           |             | 17.0        |           |
| agBAD | Baden-Schönaustrasse      | 377  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 11.7         |            | 8.5           |             | 14.0        |           |
| agSCH | Schupfart-Blind           | 482  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 12.3         |            | 8.1           |             | 6.1         |           |
| beBER | Bern-Bollwerk             | 536  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              | 15.7       |               | 8.6         |             | 23.8      |
| beBIE | Biel-Bienne               | 455  | Nord | Städtisch    | Hintergrund |              |            |               |             | 15.2        |           |
| beBIG | Biel-Göuffi               | 440  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 11.4         |            | 8.2           |             |             |           |
| beBWD | Bern-Wankdorf             | 555  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     |              |            |               |             | 20.3        |           |
| beFRU | Frutigen                  | 795  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 11.7         |            |               |             |             |           |
| beJUN | Jungfrauoch               | 3580 | Höhe | Hochgebirge  | Hintergrund | 3.1          |            |               |             |             | 0.2       |
| beLAN | Langenthal                | 490  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund |              |            |               |             | 11.1        |           |
| beMOR | Bern-Morgartenstrasse     | 554  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 12.1         |            | 8.1           |             | 14.7        |           |
| beTHB | Thun-Bälliz               | 560  | Nord | Städtisch    | Hintergrund |              |            |               |             | 16.4        |           |
| beTHP | Thun-Pestalozzi           | 561  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 10.6         |            |               |             | 11.9        |           |
| blBAS | Basel-Binningen           | 316  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.5         |            | 7.7           |             | 12.0        |           |
| blMUT | Muttenz-Hard-A2           | 275  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     |              | 17.9       |               | 11.3        |             | 36.8      |
| blSIB | Sissach-Bützenen          | 327  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 12.1         |            | 8.5           |             | 11.9        |           |
| bsBFB | Basel-Feldbergstrasse     | 255  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              | 15.7       |               | 10.4        |             | 24.3      |
| bsBSJ | Basel-St-Johann           | 260  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 13.8         |            | 9.5           |             | 16.5        |           |
| flVLB | Vaduz-Landesbibliothek    | 455  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund |              |            | 7.2           |             | 12.4        |           |
| frBUL | Bulle-Rue-de-Vevey        | 770  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     | 12.0         |            | 9.0           |             | 16.4        |           |
| frFCH | Fribourg-Chamblioux       | 645  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     | 12.7         |            | 9.2           |             | 22.8        |           |
| frPAP | Fribourg-Parc-Pérolles    | 620  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 11.2         |            | 8.2           |             | 9.3         |           |
| geFOR | Thônex-Foron              | 422  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 13.4         |            | 8.9           |             | 13.3        |           |
| geMEY | Meyrin-Vaudagne           | 439  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 13.1         |            | 8.5           |             | 12.0        |           |
| geNEC | Genève-Necker             | 383  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 15.2         |            | 9.8           |             | 28.4        |           |
| gePAS | Avully-Passeiry           | 427  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 12.4         |            | 8.0           |             | 7.5         |           |
| grCAB | Chur-A13                  | 565  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     | 14.9         |            | 7.6           |             | 20.0        |           |
| grCRB | Chur-RhB                  | 595  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 9.3          |            |               |             | 9.6         |           |
| grDAV | Davos-Seehornwald         | 1637 | Höhe | Ländlich     | Hintergrund | 5.1          |            |               |             | 2.1         |           |
| grDBP | Davos-Bubenbrunnenplatz   | 1560 | Höhe | Vorstädtisch | Verkehr     | 10.0         |            | 4.4           |             | 15.8        |           |
| grGRO | Grono                     | 333  | Süd  | Städtisch    | Industrie   | 13.4         |            |               |             | 10.7        |           |
| grPCB | Poschiavo-Croce-Bianca    | 1100 | Süd  | Vorstädtisch | Verkehr     | 14.6         |            |               |             | 15.1        |           |
| grROT | Rothenbrunnen-A13         | 623  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 10.6         |            |               |             | 14.9        |           |
| grSTR | St.Moritz-Via-Rosatsch    | 1773 | Höhe | Vorstädtisch | Verkehr     | 12.6         |            |               |             | 18.5        |           |
| grSVI | San-Vittore               | 280  | Süd  | Ländlich     | Verkehr     | 19.3         |            | 15.6          |             | 11.1        |           |
| juDEL | Delémont                  | 410  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.9         |            | 7.5           |             | 10.7        |           |
| luBRM | Beromünster               | 797  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 8.8          |            |               |             | 4.9         |           |
| luEBS | Ebikon-Sedel              | 484  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.9         |            |               |             | 13.7        |           |
| luLMO | Luzern-Moosstrasse        | 441  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              | 13.3       |               | 8.5         |             | 27.8      |
| luREI | Reiden-A2                 | 462  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 13.0         |            |               |             | 18.4        |           |
| neCHA | Chaumont                  | 1136 | Höhe | Ländlich     | Hintergrund | 7.0          |            |               |             | 3.3         |           |
| neLCF | La-Chaux-de-Fonds         | 997  | Höhe | Städtisch    | Verkehr     | 10.1         |            | 6.7           |             | 17.1        |           |
| neLLA | Le-Landeron               | 431  | Nord | Ländlich     | Hintergrund |              |            |               |             | 7.8         |           |
| neLLC | Le-Loche                  | 931  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     | 9.7          |            | 6.5           |             | 14.7        |           |
| neNEU | Neuchâtel                 | 461  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 11.4         |            | 7.8           |             | 16.7        |           |
| sgBBP | St-Gallen-Blumenbergplatz | 675  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 11.6         |            | 7.5           |             | 23.7        |           |
| sgRAP | Rapperswil-Tüchelweier    | 412  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              |            |               |             | 14.6        |           |
| sgSGS | St-Gallen-Stuelegg        | 915  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 8.9          |            | 6.3           |             | 3.6         |           |

Tabelle 3: Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (PM10, PM2.5 und NO<sub>2</sub>; Fortsetzung).

| Code  | Station                    | Höhe | Zone | Zonentyp     | Stationstyp | PM10<br>2023 | PM10<br>NV | PM2.5<br>2023 | PM2.5<br>NV | NO2<br>2023 | NO2<br>NV |
|-------|----------------------------|------|------|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|-------------|-------------|-----------|
| shNHS | Neuhausen-Schaffhauserstr. | 418  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 16.7         |            |               |             | 20.0        |           |
| soBSC | Biberist-Schachen          | 450  | Nord | Vorstädtisch | Industrie   | 13.0         |            | 8.4           |             |             |           |
| soDOR | Dornach-Schulhaus-Brühl    | 310  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.5         |            | 7.8           |             | 9.9         |           |
| soEGE | Egerkingen                 | 435  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     |              | 12.0       |               | 8.3         |             | 20.0      |
| soHAE | Härkingen-A1               | 431  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 12.2         |            | 7.8           |             | 23.5        |           |
| soSAW | Solothurn-Altwyberhüsli    | 453  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 11.0         |            | 8.0           |             | 11.0        |           |
| soSWH | Solothurn-Werkhofstrasse   | 441  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 12.0         |            | 8.3           |             | 17.0        |           |
| szRIG | Rigi-Seebodenalp           | 1031 | Höhe | Ländlich     | Hintergrund | 6.9          |            | 4.3           |             | 3.8         |           |
| szSYZ | Schwyz                     | 470  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.4         |            | 7.4           |             | 13.2        |           |
| tgFRA | Frauenfeld-Bahnhofstrasse  | 403  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.4         |            |               |             |             |           |
| tgTAE | Tänikon                    | 538  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 9.8          |            | 6.3           |             | 7.8         |           |
| tiAIR | Airolo                     | 1157 | Höhe | Ländlich     | Verkehr     | 10.0         |            | 6.0           |             | 13.0        |           |
| tiBIO | Bioggio                    | 285  | Süd  | Vorstädtisch | Industrie   | 18.0         |            | 11.0          |             | 22.0        |           |
| tiBOD | Bodio                      | 330  | Süd  | Vorstädtisch | Industrie   | 17.0         |            | 9.0           |             | 18.0        |           |
| tiBRI | Brione-sopra-Minusio       | 480  | Süd  | Vorstädtisch | Hintergrund | 12.0         |            | 9.0           |             | 6.0         |           |
| tiCAM | Camignolo                  | 435  | Süd  | Ländlich     | Verkehr     | 14.0         |            |               |             |             | 30.0      |
| tiCHI | Chiasso                    | 240  | Süd  | Städtisch    | Verkehr     | 21.0         |            | 14.0          |             | 26.0        |           |
| tiGIU | Giubiasco                  | 222  | Süd  | Vorstädtisch | Industrie   | 15.0         |            | 8.0           |             | 16.0        |           |
| tiLOC | Locarno                    | 209  | Süd  | Städtisch    | Verkehr     | 15.0         |            | 10.0          |             | 17.0        |           |
| tiLUG | Lugano-Università          | 280  | Süd  | Städtisch    | Hintergrund | 14.0         |            | 9.4           |             | 19.5        |           |
| tiMAG | Magadino-Cadenazzo         | 203  | Süd  | Ländlich     | Hintergrund | 14.2         |            | 9.1           |             | 11.9        |           |
| tiMEN | Mendrisio-A2               | 315  | Süd  | Vorstädtisch | Verkehr     | 20.0         |            | 14.0          |             | 26.0        |           |
| tiMOL | Moleno-A2                  | 255  | Süd  | Ländlich     | Verkehr     | 15.0         |            | 10.0          |             | 23.0        |           |
| tiPRE | Lugano-Pregassona          | 305  | Süd  | Vorstädtisch | Hintergrund | 16.0         |            | 10.0          |             | 16.0        |           |
| urALT | Altdorf                    | 438  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 10.2         |            |               |             | 15.0        |           |
| urERS | Erstfeld-A2                | 460  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 9.6          |            | 6.5           |             | 18.4        |           |
| vdAIG | Aigle                      | 386  | Nord | Ländlich     | Industrie   | 12.9         |            | 7.9           |             | 17.3        |           |
| vdBUS | Bussigny                   | 429  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 13.5         |            | 8.5           |             | 25.0        |           |
| vdLAU | Lausanne-César-Roux        | 530  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 12.6         |            | 8.2           |             | 23.3        |           |
| vdLPL | Lausanne-Plaines-du-Loup   | 598  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 11.6         |            | 7.9           |             | 14.2        |           |
| vdMON | Montreux                   | 395  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 9.6          |            | 6.5           |             | 13.7        |           |
| vdMOR | Morges                     | 376  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 12.3         |            | 9.1           |             | 16.9        |           |
| vdNYO | Nyon-Hôpital               | 412  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.3         |            | 7.6           |             | 12.9        |           |
| vdPAY | Payerne                    | 489  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 9.9          |            | 6.5           |             | 8.6         |           |
| vdYVE | Yverdon-les-Bains          | 432  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.6         |            | 8.3           |             | 13.3        |           |
| vsBRG | Brigerbad                  | 650  | Nord | Ländlich     | Industrie   | 12.9         |            | 7.5           |             | 15.8        |           |
| vsEGG | Ergerberg                  | 840  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 9.8          |            | 5.9           |             | 7.6         |           |
| vsGIE | Les-Giettes                | 1140 | Höhe | Ländlich     | Hintergrund | 7.4          |            | 4.4           |             | 2.5         |           |
| vsMAS | Massongex                  | 400  | Nord | Ländlich     | Industrie   | 14.6         |            | 8.6           |             | 11.2        |           |
| vsMOT | Montana                    | 1420 | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 10.4         |            | 6.1           |             | 8.2         |           |
| vsSAX | Saxon                      | 460  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 12.9         |            | 9.6           |             | 12.7        |           |
| vsSIO | Sion-Aéroport-A9           | 483  | Nord | Ländlich     | Verkehr     | 15.7         |            | 7.4           |             | 24.3        |           |
| vsSVE | Sion                       | 527  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 13.3         |            | 8.0           |             | 17.6        |           |
| zgZUG | Zug                        | 420  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 12.2         |            |               |             | 18.1        |           |
| zhDUE | Dübendorf-EMPA             | 432  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 11.4         |            | 7.2           |             | 16.7        |           |
| zhOPF | Opfikon-Balsberg           | 430  | Nord | Vorstädtisch | Verkehr     |              | 13.2       |               | 8.3         |             | 24.9      |
| zhRGS | Zürich-Rosengartenstrasse  | 433  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              | 14.0       |               | 9.3         |             | 32.7      |
| zhSCG | Schlieren-Güterstrasse     | 392  | Nord | Vorstädtisch | Industrie   |              |            |               |             |             |           |
| zhWLD | Wald-Höhenklinik           | 910  | Nord | Ländlich     | Hintergrund | 8.6          |            |               |             |             |           |
| zhWVH | Winterthur-Veltheim        | 440  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 10.4         |            | 6.2           |             | 11.4        |           |
| zhOPG | Opfikon-Glattpark          | 426  | Nord | Städtisch    | Hintergrund |              |            |               |             |             |           |
| zhZBW | Zürich-Schimmelstrasse     | 415  | Nord | Städtisch    | Verkehr     |              | 12.7       |               | 8.9         |             | 25.0      |
| zhZHB | Zürich-Heubeeribüel        | 610  | Nord | Vorstädtisch | Hintergrund | 10.1         |            |               |             | 8.5         |           |
| zhZSS | Zürich-Stampfenbachstrasse | 445  | Nord | Städtisch    | Verkehr     | 13.1         |            | 8.7           |             | 18.8        |           |
| zhWNE | Winterthur-Neuhegi         | 459  | Nord | Städtisch    | Hintergrund |              |            |               | 7.3         | 11.4        |           |
| zhZUE | Zürich-Kaserne             | 409  | Nord | Städtisch    | Hintergrund | 12.1         |            | 8.0           |             | 17.6        |           |

Tabelle 4: Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (SO<sub>2</sub>, MP98 und AOT40f).

| Code  | Station                   | Höhe | Zonentyp     | Stationstyp | SO <sub>2</sub> 2023 | SO <sub>2</sub> Erg. (*) | MP98 2023 | MP98 NV | AOT40f 2023 | AOT40f NV |
|-------|---------------------------|------|--------------|-------------|----------------------|--------------------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| agAAR | Aarau-Buchenhof           | 398  | Städtisch    | Verkehr     | 0.7                  | *                        |           | 140.0   |             | 10.4      |
| agBAD | Baden-Schönaustrasse      | 377  | Städtisch    | Hintergrund |                      |                          | 140.8     |         | 12.6        |           |
| agSCH | Schupfart-Blind           | 482  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 147.4     |         | 14.3        |           |
| beBER | Bern-Bollwerk             | 536  | Städtisch    | Verkehr     |                      |                          |           | 130.0   |             | 8.4       |
| beBIE | Biel-Bienne               | 455  | Städtisch    | Hintergrund | 1.0                  | *                        | 142.7     |         |             |           |
| beETZ | Etzelkofen                | 530  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 143.0     |         |             |           |
| beJUN | Jungfrauoch               | 3580 | Hochgebirge  | Hintergrund | 0.0                  |                          |           | 107.8   |             | 35.3      |
| beLAN | Langenthal                | 490  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.7                  | *                        | 137.0     |         |             |           |
| beMOR | Bern-Morgartenstrasse     | 554  | Städtisch    | Hintergrund |                      |                          | 140.2     |         | 12.8        |           |
| beTHB | Thun-Bälliz               | 560  | Städtisch    | Hintergrund | 0.7                  | *                        |           |         |             |           |
| beTHP | Thun-Pestalozzi           | 561  | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          | 141.4     |         |             |           |
| beZIM | Zimmerwald                | 898  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 136.0     |         |             |           |
| blBAS | Basel-Binningen           | 316  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.6                  |                          | 150.2     |         | 15.0        |           |
| blSIB | Sissach-Bützenen          | 327  | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          |           | 151.0   |             | 16.2      |
| bsBET | Bettingen-Chrischonatum   | 636  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          |           | 150.9   |             | 12.9      |
| bsBSJ | Basel-St-Johann           | 260  | Städtisch    | Hintergrund | 1.0                  | *                        | 148.7     |         | 14.3        |           |
| frBUL | Bulle-Rue-de-Vevey        | 770  | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 129.8   |             | 5.9       |
| frFCH | Fribourg-Chamblioux       | 645  | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 128.5   |             | 8.4       |
| frPAP | Fribourg-Parc-Pérolles    | 620  | Städtisch    | Hintergrund |                      |                          | 135.6     |         | 11.9        |           |
| geFOR | Thônex-Foron              | 422  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.9                  | *                        | 142.9     |         | 17.6        |           |
| geMEY | Meyrin-Vaudagne           | 439  | Vorstädtisch | Hintergrund | 1.0                  | *                        | 140.6     |         | 15.2        |           |
| geNEC | Genève-Necker             | 383  | Städtisch    | Hintergrund | 1.2                  |                          |           | 129.0   | 9.1         |           |
| gePAS | Avully-Passeiry           | 427  | Ländlich     | Hintergrund | 0.5                  | *                        | 142.3     |         | 16.4        |           |
| grARM | Arosa-Maran               | 1875 | Städtisch    | Industrie   |                      |                          |           | 120.4   |             | 18.0      |
| grCAB | Chur-A13                  | 565  | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 137.0   |             | 9.1       |
| grCAS | Castaneda                 | 770  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 143.5     |         | 15.8        |           |
| grCKS | Chur-Kantonsspital        | 655  | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          | 139.4     |         | 13.0        |           |
| grCRB | Chur-RhB                  | 595  | Städtisch    | Hintergrund | 0.7                  | *                        |           |         |             |           |
| grDAV | Davos-Seehornwald         | 1637 | Ländlich     | Hintergrund | 0.0                  | *                        | 118.0     |         | 13.1        |           |
| grDBP | Davos-Bubenbrunnenplatz   | 1560 | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 117.9   |             | 12.1      |
| grPCB | Poschiavo-Croce-Bianca    | 1100 | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 123.3   |             | 8.5       |
| grRMU | Roveredo-Municipio        | 320  | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          | 142.6     |         | 13.7        |           |
| grROT | Rothenbrunnen-A13         | 623  | Ländlich     | Verkehr     |                      |                          |           | 136.3   |             |           |
| grSOG | Soglio                    | 1100 | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 135.7     |         | 15.1        |           |
| grSTM | St-Moritz-Schulhaus       | 1860 | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          | 113.8     |         | 13.9        |           |
| grSTR | St.Moritz-Via-Rosatsch    | 1773 | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 112.1   |             | 13.3      |
| juDEL | Delémont                  | 410  | Vorstädtisch | Hintergrund |                      |                          | 149.6     |         |             |           |
| luBRM | Beromünster               | 797  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 151.0     |         | 17.4        |           |
| luEBS | Ebikon-Sedel              | 484  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.6                  | *                        | 149.8     |         | 14.9        |           |
| neCHA | Chaumont                  | 1136 | Ländlich     | Hintergrund | 0.2                  | *                        | 145.0     |         | 19.2        |           |
| neLCF | La-Chaux-de-Fonds         | 997  | Städtisch    | Verkehr     | 0.5                  | *                        |           | 133.0   |             | 10.2      |
| neLLA | Le-Landeron               | 431  | Ländlich     | Hintergrund | 1.2                  |                          | 138.0     |         | 14.9        |           |
| neLLC | Le-Loche                  | 931  | Vorstädtisch | Verkehr     |                      |                          |           | 133.2   |             | 11.2      |
| neNEU | Neuchâtel                 | 461  | Städtisch    | Verkehr     | 0.7                  | *                        |           | 136.6   |             | 12.3      |
| sgBBP | St-Gallen-Blumenbergplatz | 675  | Städtisch    | Verkehr     |                      |                          |           | 134.1   |             | 8.5       |
| sgRAP | Rapperswil-Tüchelweier    | 412  | Städtisch    | Verkehr     |                      |                          |           |         |             |           |
| sgSGS | St-Gallen-Stuelegg        | 915  | Ländlich     | Hintergrund |                      |                          | 147.9     |         | 15.7        |           |

Tabelle 5: Stationen und Messdaten, welche für die Modellierung 2023 verwendet wurden (SO<sub>2</sub>, MP98 und AOT40f; Fortsetzung).

|       |                            |      |              |             | SO <sub>2</sub><br>2023 | SO <sub>2</sub><br>Erg. (*) | MP98<br>2023 | MP98<br>NV | AOT40f<br>2023 | AOT40f<br>NV |
|-------|----------------------------|------|--------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|--------------|------------|----------------|--------------|
| soBRU | Brunnersberg               | 1089 | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 132.0        |            | 14.6           |              |
| soDOR | Dornach-Schulhaus-Brühl    | 310  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 149.8        |            | 14.2           |              |
| soEGE | Egerkingen                 | 435  | Vorstädtisch | Verkehr     |                         |                             |              | 151.0      |                | 14.4         |
| soHAE | Härkingen-A1               | 431  | Ländlich     | Verkehr     | 0.4                     |                             |              | 146.0      |                | 11.5         |
| soSAW | Solothurn-Altwyberhüsli    | 453  | Städtisch    | Hintergrund | 0.9 *                   |                             | 151.0        |            | 15.1           |              |
| szRIG | Rigi-Seebodenalp           | 1031 | Ländlich     | Hintergrund | 0.3                     |                             | 149.0        |            | 18.2           |              |
| tgTAE | Tänikon                    | 538  | Ländlich     | Hintergrund | 0.2 *                   |                             | 147.0        |            | 14.9           |              |
| tiAIR | Airolo                     | 1157 | Ländlich     | Verkehr     |                         |                             | 133.0        |            | 15.6           |              |
| tiBIO | Bioggio                    | 285  | Vorstädtisch | Industrie   | 0.3 *                   |                             | 150.0        |            | 24.3           |              |
| tiBOD | Bodio                      | 330  | Vorstädtisch | Industrie   | 9.0                     |                             | 136.0        |            | 14.5           |              |
| tiBRI | Brione-sopra-Minusio       | 480  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.6 *                   |                             | 160.0        |            | 22.9           |              |
| tiCHI | Chiasso                    | 240  | Städtisch    | Verkehr     | 0.4 *                   |                             |              | 161.0      |                | 26.1         |
| tiGIU | Giubiasco                  | 222  | Vorstädtisch | Industrie   |                         |                             | 141.0        |            | 18.6           |              |
| tiLOC | Locarno                    | 209  | Städtisch    | Verkehr     | 0.9 *                   |                             |              | 155.0      |                | 9.0          |
| tiLUG | Lugano-Università          | 280  | Städtisch    | Hintergrund | 0.5                     |                             | 154.0        |            | 22.9           |              |
| tiMAG | Magadino-Cadenazzo         | 203  | Ländlich     | Hintergrund | 0.6                     |                             | 146.0        |            | 16.8           |              |
| tiMEN | Mendrisio-A2               | 315  | Vorstädtisch | Verkehr     |                         |                             |              | 168.0      |                | 28.0         |
| tiPRE | Lugano-Pregassona          | 305  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 153.0        |            | 25.7           |              |
| urALT | Altdorf                    | 438  | Ländlich     | Verkehr     |                         |                             |              | 133.7      |                | 8.8          |
| urERS | Erstfeld-A2                | 460  | Ländlich     | Verkehr     |                         |                             |              | 131.3      |                | 7.6          |
| vdAIG | Aigle                      | 386  | Ländlich     | Industrie   |                         |                             | 134.8        |            | 10.2           |              |
| vdBUS | Bussigny                   | 429  | Städtisch    | Verkehr     |                         |                             |              | 130.6      |                | 9.8          |
| vdLAU | Lausanne-César-Roux        | 530  | Städtisch    | Verkehr     |                         |                             |              | 127.0      |                | 7.0          |
| vdLPL | Lausanne-Plaines-du-Loup   | 598  | Städtisch    | Hintergrund |                         |                             |              | 146.1      |                | 16.5         |
| vdMON | Montreux                   | 395  | Städtisch    | Hintergrund |                         |                             | 143.5        |            | 12.1           |              |
| vdMOR | Morges                     | 376  | Städtisch    | Hintergrund |                         |                             | 137.7        |            | 11.4           |              |
| vdNYO | Nyon-Hôpital               | 412  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 144.8        |            | 16.0           |              |
| vdPAY | Payerne                    | 489  | Ländlich     | Hintergrund | 0.2                     |                             | 141.0        |            | 15.1           |              |
| vdYVE | Yverdon-les-Bains          | 432  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 139.5        |            | 14.2           |              |
| vsBRG | Brigerbad                  | 650  | Ländlich     | Industrie   | 0.8 *                   |                             | 136.5        |            | 14.4           |              |
| vsEGG | Eggerberg                  | 840  | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 140.0        |            | 16.4           |              |
| vsGIE | Les-Giettes                | 1140 | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 137.0        |            | 9.4            |              |
| vsMAS | Massongex                  | 400  | Ländlich     | Industrie   | 1.4 *                   |                             | 143.2        |            | 13.7           |              |
| vsMOT | Montana                    | 1420 | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 140.3        |            |                | 17.9         |
| vsSAX | Saxon                      | 460  | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 147.3        |            | 15.6           |              |
| vsSIO | Sion-Aéroport-A9           | 483  | Ländlich     | Verkehr     | 1.0 *                   |                             |              | 131.0      |                | 9.6          |
| vsSVE | Sion                       | 527  | Städtisch    | Verkehr     |                         |                             |              | 135.5      |                | 11.5         |
| zhDUE | Dübendorf-EMPA             | 432  | Vorstädtisch | Hintergrund | 0.3                     |                             | 149.0        |            | 15.8           |              |
| zhOPF | Opfikon-Balsberg           | 430  | Vorstädtisch | Verkehr     |                         |                             |              | 141.0      |                | 10.1         |
| zhRGS | Zürich-Rosengartenstrasse  | 433  | Städtisch    | Verkehr     |                         |                             |              | 128.4      |                | 6.1          |
| zhSCG | Schlieren-Güterstrasse     | 392  | Vorstädtisch | Industrie   |                         |                             |              |            |                |              |
| zhWLD | Wald-Höhenklinik           | 910  | Ländlich     | Hintergrund |                         |                             | 144.3        | 144.3      | 14.2           | 14.2         |
| zhWNE | Winterthur-Neuhegi         | 459  | Städtisch    | Hintergrund |                         |                             | 147.1        |            | 14.5           |              |
| zhWVH | Winterthur-Velhtheim       | 440  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 144.1        |            |                | 13.4         |
| zhZBW | Zürich-Schimmelstrasse     | 415  | Städtisch    | Verkehr     | 0.9 *                   |                             |              | 138.5      |                | 10.8         |
| zhZHB | Zürich-Heubeeribüel        | 610  | Vorstädtisch | Hintergrund |                         |                             | 151.0        |            | 18.1           |              |
| zhZSS | Zürich-Stampfenbachstrasse | 445  | Städtisch    | Verkehr     | 0.9                     |                             |              | 139.3      |                | 12.5         |
| zhZUE | Zürich-Kaserne             | 409  | Städtisch    | Hintergrund | 0.3                     |                             | 151.0        |            | 15.8           |              |

Tabelle 6: Anzahl berücksichtigte Messstationen pro Jahr und Schadstoff.

| Jahr | PM10 | PM2.5 | NO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | MP98 | AOT40f |
|------|------|-------|-----------------|-----------------|------|--------|
| 1980 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1981 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1982 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1983 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1984 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1985 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1986 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1987 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1988 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1989 |      |       |                 | 61              |      |        |
| 1990 |      |       | 64              | 61              | 36   | 46     |
| 1991 |      |       | 69              | 61              | 43   | 56     |
| 1992 |      |       | 79              | 61              | 49   | 67     |
| 1993 |      |       | 84              | 61              | 53   | 75     |
| 1994 |      |       | 83              | 61              | 54   | 76     |
| 1995 |      |       | 88              | 61              | 60   | 81     |
| 1996 |      |       | 89              | 61              | 60   | 83     |
| 1997 |      |       | 90              | 61              | 67   | 90     |
| 1998 | 21   |       | 88              | 61              | 67   | 90     |
| 1999 | 33   |       | 90              | 61              | 69   | 91     |
| 2000 | 42   |       | 91              | 61              | 75   | 91     |
| 2001 | 51   |       | 84              | 61              | 76   | 86     |
| 2002 | 55   |       | 89              | 61              | 76   | 87     |
| 2003 | 57   |       | 88              | 61              | 78   | 85     |
| 2004 | 62   |       | 93              | 61              | 82   | 86     |
| 2005 | 60   |       | 93              | 61              | 81   | 85     |
| 2006 | 60   |       | 93              | 61              | 82   | 86     |
| 2007 | 69   |       | 92              | 61              | 79   | 84     |
| 2008 | 72   |       | 91              | 61              | 76   | 80     |
| 2009 | 75   |       | 95              | 61              | 76   | 80     |
| 2010 | 81   |       | 97              | 61              | 76   | 80     |
| 2011 | 80   |       | 94              | 61              | 72   | 76     |
| 2012 | 82   |       | 93              | 61              | 72   | 76     |
| 2013 | 84   |       | 92              | 61              | 72   | 73     |
| 2014 | 84   |       | 90              | 61              | 74   | 74     |
| 2015 | 80   | 9     | 85              | 61              | 68   | 65     |
| 2016 | 81   | 10    | 86              | 61              | 68   | 65     |
| 2017 | 84   | 19    | 87              | 61              | 64   | 67     |
| 2018 | 84   | 30    | 86              | 61              | 68   | 69     |
| 2019 | 79   | 50    | 82              | 62              | 56   | 57     |
| 2020 | 83   | 61    | 82              | 62              | 57   | 56     |
| 2021 | 81   | 63    | 84              | 62              | 62   | 58     |
| 2022 | 84   | 64    | 84              | 62              | 54   | 52     |
| 2023 | 86   | 67    | 87              | 62              | 57   | 51     |