



*Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt*

*Vertragsnummer: 00.5082.PZ / D1127658F*

# Quantifizierung des Gesundheitsnutzens der neuen Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation in der Schweiz

## Projekt GeLuft

Projektbericht

**Alberto Castro, Meltem Kutlar Joss, Martin Rööfli**

## Impressum

### **Auftraggeber:**

Bundesamt für Umwelt (BAFU),  
Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien,  
CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation  
(UVEK).

### **Auftragnehmer:**

Swiss Tropical and Public Health Institute  
Kreuzstrasse 2  
4123 Allschwil  
Schweiz

[www.swisstph.ch](http://www.swisstph.ch)

### **Kontakt:**

Alberto Castro  
Senior scientific collaborator  
Department Epidemiologie and Public Health  
Unit Umwelt und Gesundheit  
E-Mail: [alberto.castrofernandez@swisstph.ch](mailto:alberto.castrofernandez@swisstph.ch)

**Autor/Autorin:** Alberto Castro, Meltem Kutlar Joss, Martin Rössli

**Begleitung BAFU:** Lara Milena Lüthi

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst.  
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.



## Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Umwelt und der Meteotest AG für die Bereitstellung von Luftschadstoffkonzentrationsdaten für die Schweiz. Zudem danken wir Regina Ducret (Swiss TPH) für die Koordination der Datenlieferungen für das Swiss TPH.

## Vorgeschlagene Zitierung

Castro, A., Kutlar Joss, M., Rössli, M. (2023). Quantifizierung des Gesundheitsnutzens der neuen Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation in der Schweiz. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.

# ABKURZUNGEN

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>ALRI</b>             | Acute Lower Respiratory Infections (Chronisch obstruktive Lungenerkrankung, auf Deutsch)  |
| <b>AQG</b>              | Air Quality Guidelines (Luftqualitätsleitlinien, auf Deutsch)                             |
| <b>BAFU</b>             | Bundesamt für Umwelt  |
| <b>BFS</b>              | Bundesamt für Statistik   |
| <b>COPD</b>             | Chronic obstructive pulmonary disease (Akute Infektion der unteren Atemwege, auf Deutsch) |
| <b>EEA</b>              | European Environment Agency   |
| <b>EEV</b>              | Externe Kosten des Verkehrs   |
| <b>ESCAPE</b>           | European Study of Cohorts for Air Pollution Effects                                       |
| <b>ELAPSE</b>           | Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe                                     |
| <b>ETC-HE</b>           | European Topic Centre - Human Health and the Environment                                  |
| <b>BFS</b>              | Bundesamt für Statistik   |
| <b>GBD</b>              | Global Burden of Disease  |
| <b>ISA</b>              | Integrated Science Assessments  |
| <b>LUDOK</b>            | Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit                                     |
| <b>LRV</b>              | Luftreinhalte-Verordnung  |
| <b>NO<sub>2</sub></b>   | Stickstoffdioxid  |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | Feinstaub   |
| <b>Swiss TPH</b>        | Swiss Tropical and Public Health Institute  |
| <b>US EPA</b>           | United States Environmental Protection Agency   |
| <b>USA</b>              | United States of America (Vereinigten Staaten von Amerika, auf Deutsch)                   |
| <b>WHO</b>              | World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation auf Deutsch)                       |
| <b>WHO-AQG-2021</b>     | Air Quality Guidelines der Weltgesundheitsorganisation des Jahres 2021                    |

# TABLE OF CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| Danksagung.....  | 2  |
| Vorgeschlagene Zitierung .....                                   | 2  |
| ZUSAMMENFASSUNG.....   | 5  |
| 1. AUSGANGLAGE .....   | 6  |
| 2. ZIEL.....   | 8  |
| 3. METHODEN.....   | 8  |
| 3.1 Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen.....             | 8  |
| 3.2 Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare .....       | 10 |
| 3.2.1 Vorauswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkte .....       | 10 |
| 3.2.2 Finale Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkte .....   | 14 |
| 3.3 Inputdaten .....   | 17 |
| 3.3.1 Luftbelastung.....   | 17 |
| 3.3.2 Effektschätzer.....  | 17 |
| 3.3.3 Gesundheitsdaten .....                                     | 19 |
| 3.4 Software .....   | 22 |
| 4. ERGEBNISSE .....  | 22 |
| 5. DISKUSSION .....  | 24 |
| 6. SCHLUSSFOLGERUNG .....  | 25 |
| 7. LITERATURVERZEICHNIS.....                                     | 26 |
| Appendix A: Methoden .....                                       | 32 |
| A.1.1 Evidenz aus der Literatur.....                             | 32 |
| A.1.2 Effektschätzer aus der Literatur .....                     | 35 |
| A.1.3 Verfügbare Gesundheitsdaten .....                          | 42 |
| A.1.4 Bewertungskriterien für die Auswahl.....                   | 47 |
| Appendix B: Ergebnisse .....                                     | 50 |
| B.1 Ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare .....       | 50 |
| B.1.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer .....      | 50 |
| B.1.2 Alternative Effektschätzer .....                           | 53 |
| B.1.3 Alternative Gesundheitsdaten.....                          | 56 |
| B.2 Nicht-ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare ..... | 57 |
| B.2.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer .....      | 57 |
| B.2.2 Alternative Effektschätzer .....                           | 59 |
| B.2.3 Alternative Gesundheitsdaten.....                          | 60 |

# ZUSAMMENFASSUNG

Die aktuellen Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) entsprechen weitgehend den Richtwerten der Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO-AQG, «World Health Organization Air Quality Guidelines») aus dem Jahr 2005. Im Jahr 2021 wurden die WHO-AQG-Werte (WHO-AQG-2021-Werte) aufgrund neuer Evidenz aus der wissenschaftlichen Literatur angepasst und für Feinstaub und NO<sub>2</sub> verschärft. Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Gesundheitsnutzen (inklusive Sterblichkeit und Morbidität) einer Einhaltung der von der WHO neu definierten Richtwerte (2021) in der Schweiz zu berechnen.

Zur Quantifizierung des Gesundheitsnutzens für das Jahr 2019 berechneten wir die Gesundheitsauswirkungen der Luftverschmutzung mit PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub> in einem Referenzszenario (mittlere Exposition in der Bevölkerung, entspricht den WHO-AQG-Werten von 2021) und zwei Vergleichsszenarien. Das erste Vergleichsszenario ist die mittlere Exposition in der Bevölkerung entsprechend den aktuellen LRV-Grenzwerten. Das zweite Szenario nimmt die tatsächlich aufgetretenen Immissionen für die Schweiz im Jahr 2019 als Bezugsgrösse. Die gesundheitlichen Endpunkte für die Belastung mit PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub> wurden auf der Grundlage einer Evidenzbewertung ausgewählt. Effektschätzer für die verschiedenen Auswirkungen wurden aus der Literatur hergeleitet. Gesundheitsdaten für das Jahr 2019 wurden von Schweizerischen Routinestatistiken bezogen wie dem Krebsregister oder der Todesursachenstatistik und vom Global Burden of Disease Projekt oder von bevölkerungsbezogenen Studien abgeschätzt. Wir bewerteten die Sterblichkeit (als Todesfälle und als verlorene Lebensjahre separat für Erwachsene und Kinder) und zusätzlich 14 Krankheitsbilder, welche durch PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub> verursacht werden (Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern, chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen, Demenz bei Senioren, Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen, ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen, Lungenkrebs bei Erwachsenen, niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten, Schlaganfällen bei Erwachsenen, Asthma bei Erwachsenen und Kindern sowie Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen und Herz-/ Kreislauferkrankungen, Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen, Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden).

Im Vergleich zum LRV-Grenzwert für PM<sub>2.5</sub> (10 µg/m<sup>3</sup>) würde die mittlere Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts (5 µg/m<sup>3</sup>) ca. 3'370 luftverschmutzungsbedingte Todesfälle (35'800 verlorene Lebensjahre) bei Erwachsenen vermeiden. Da die PM<sub>2.5</sub>-Immissionen im Jahr 2019 mit 8.3 µg/m<sup>3</sup> bereits tiefer waren als der LRV-Grenzwert (10 µg/m<sup>3</sup>), ist die Zahl der vermiedenen Todesfälle für das zweite Vergleichsszenario tiefer: ca. 2'250 Todesfälle (ca. 23'850 verlorene Lebensjahre). COPD und Demenz sind die zwei häufigsten Krankheiten, die durch PM<sub>2.5</sub> verursacht werden. Entsprechend könnten pro Jahr ca. 13'340 COPD-Erkrankungen (6'960 Demenzerkrankungen) im Szenario 1 und ca. 9'040 COPD Erkrankungen (ca. 4'960 Demenzerkrankungen) im Szenario 2 vermieden werden.

Die Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts für NO<sub>2</sub> (10 µg/m<sup>3</sup>) würde im Jahr 2019 gegenüber einer mittleren Einhaltung des LRV-Grenzwerts (30 µg/m<sup>3</sup>) ca. 3'400 Fälle von Asthma bei Erwachsenen vermeiden bzw. ca. 1'100 im Vergleich mit den NO<sub>2</sub>-Immissionen von 2019 (16.32 µg/m<sup>3</sup>).

Der Gesundheitsnutzen ist beachtlich, wenn es gelingt, in der Schweiz die Immissionen auf das Niveau der WHO-AQG-2021-Werte zu reduzieren.

# 1. AUSGANGLAGE

In der Schweiz werden die Gesundheitsauswirkungen der Luftverschmutzung (Gesamtbelastung und nur verkehrsbedingt) seit den 1990er Jahren in Studien zu den externen Effekten des Verkehrs (EEV) quantifiziert. Die letzte Überarbeitung der Methodik erfolgte im Jahr 2014 (ARE 2014) für die Bewertung für das Jahr 2010 bei dem Bericht «Externe Effekte des Verkehrs 2010» (als EEV-2010 gekürzt). Die Studie GKV-21 (Grundlagen zur Kostenwahrheit im Verkehr 2021) wird diese Methodik aktualisieren und die Gesundheitseffekte des Verkehrs und der gesamten Luftbelastung für das Jahr 2021 neu berechnen. Nicht nur Studien aus der Schweiz, sondern auch internationale Gesundheitsfolgenabschätzungen, z.B. die Global Burden of Disease Studie (Murray et al. 2020) und jene der Europäischen Umweltagentur (EEA 2021), berechnen die Gesundheitsfolgen der Luftverschmutzung in der Schweiz neben anderen Ländern. Im Rahmen des Projekts QHIAS (Quantification of health impact of air pollution in Switzerland) wurden Methodik und die Ergebnisse verschiedener Gesundheitsfolgenabschätzungen zur Luftverschmutzung in der Schweiz aus nationalen und internationalen Studien verglichen (Castro et al. 2022b). Zudem quantifizierte QHIAS die Sterblichkeit, die im Jahr 2019 in der Schweiz durch Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2.5 Mikrometern (PM<sub>2.5</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) verursacht wurde.

In der Schweiz wird die Belastung der Aussenluft von verschiedenen Luftschadstoffen durch Immissionsgrenzwerte in der Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV; SR 814.318.142.1, Stand am 1. Januar 2023) geregelt. Die aktuellen Grenzwerte der LRV orientieren sich an den Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO-AQG, «World Health Organization Air Quality Guidelines» auf English) vom Jahr 2005 (WHO 2006). Im Jahr 2021 wurden die WHO-AQG-Werte aufgrund der neuen Evidenz aus der wissenschaftlichen Literatur aktualisiert und angepasst (WHO 2021). Damit stimmen die Grenzwerte in der schweizerischen LRV nicht mehr mit den WHO-Empfehlungen überein. Eine Aktualisierung der LRV mit den neuen WHO-AQG vom Jahr 2021 (WHO-AQG-2021) würde einen zusätzlichen Gesundheitsnutzen bringen.

Tabelle 1: Richtwerte der WHO-Luftqualitätsleitlinien (AQG), welche in den WHO-Luftqualitätsleitlinien 2005 (WHO 2006) und 2021 (WHO 2021) empfohlen werden sowie die derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142.1, Stand am 1. Januar 2023).

| Schadstoff   | Mittelungszeit                                     | WHO-AQG-2005     | WHO-AQG-2021    | LRV              |
|--|--|------------------|-----------------|------------------|
| <b>PM2.5, <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>          | Jahr   | 10               | 5               | 10               |
|  | 24 Stunden <sup>1</sup>                            | 25               | 15              |                  |
| <b>PM10, <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>           | Jahr   | 20               | 15              | 20               |
|  | 24 Stunden <sup>1</sup>                            | 50               | 45              | 50               |
| <b>Ozon, <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>           | Sommersaison <sup>2</sup>                          |                  | 60              |                  |
|  | 8 Stunden <sup>1</sup>                             | 100              | 100             |                  |
|  | 1 Stunde   |                  |                 | 120 <sup>3</sup> |
|  | 98 % der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Monats |                  |                 | 100              |
| <b>NO<sub>2</sub>, <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> | Jahr   | 40               | 10              | 30               |
|  | 24 Stunden   |                  | 25 <sup>1</sup> | 80 <sup>3</sup>  |
|  | 1 Stunde   | 200 <sup>1</sup> |                 |                  |
|  | 95 % der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Jahres |                  | -               | 100              |
| <b>SO<sub>2</sub>, <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> | Jahr   | 20 <sup>4</sup>  | -               | 30 <sup>5</sup>  |
|  | 24 Stunden   | 20               | 40 <sup>1</sup> | 100 <sup>3</sup> |
|  | 95 % der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Jahres |                  | -               | 100              |
| <b>CO, <math>\text{mg}/\text{m}^3</math></b>               | 24 Stunden   |                  | 4 <sup>1</sup>  | 8 <sup>3</sup>   |

Abbreviation: WHO-AQG = Air Quality Guidelines der Weltgesundheitsorganisation.

<sup>1</sup> 99. Perzentil (d.h. 3 Überschreitungen pro Jahr sind zulässig)

<sup>2</sup> Durchschnitt der maximalen täglichen 8-h-Mittelwerte der Ozon-Konzentration in den sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit der höchsten Ozon-Konzentration im Sechsmonatsdurchschnitt. Für die Schweiz entspricht dies April bis September.

<sup>3</sup> Darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.

<sup>4</sup> Wert der WHO-Luftqualitätsleitlinien 2000 (WHO, 2000), welcher zum Schutz von Wäldern und weiteren naturnahen Ökosystemen festgelegt wurde. Er gilt als Jahresmittelwert sowie auch für das Winterhalbjahr (Oktober-März).

<sup>5</sup> Immissionsgrenzwert, welcher auch den Schutz von Tieren und Pflanzen, ihren Lebensgemeinschaften und Lebensräumen nach USG Art. 1 Abs. 1 und Art. 14 Buchstabe a einschliesst und dem Stand des Wissens zum Zeitpunkt des Erlasses der Luftreinhalte-Verordnung im Jahre 1985 entspricht.

## 2. ZIEL

Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Gesundheitsnutzen (einschliesslich Sterblichkeit und Morbidität) einer Luftbelastung auf dem Belastungsniveau der WHO-AQG-2021-Werte in der Schweiz zu berechnen. Der Gesundheitsnutzen der WHO-AQG-2021-Werte wird mit zwei verschiedenen Szenarien verglichen:

1. Aktuelle LRV-Grenzwerte und
2. Tatsächlich aufgetretene Immissionen von PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub> im Jahr 2019.

## 3. METHODEN

### 3.1 Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen

Zur Quantifizierung des Gesundheitsnutzens wurde eine vergleichende Gesundheitsrisikobewertung angewendet («comparative health risk assessment» auf Englisch), basierend auf der Berechnung der attributablen Fälle. Dabei stellt die Luftbelastung auf dem Niveau der WHO-AQG-2021-Werte das Referenzszenario dar, welches mit den Gesundheitsauswirkungen in zwei Vergleichsszenarien (nämlich die LRV-Grenzwerte und die Immissionen für die Schweiz im Jahr 2019) verglichen werden. Die Gesundheitsauswirkungen des Referenzszenarios minus die des Vergleichsszenarios ergeben den Gesundheitsnutzen.

Formel 1: Berechnung des Gesundheitsnutzens der WHO-AQG-2021-Werte im Vergleich zu den LRV-Grenzwerten.

$$N_{LRV-AQG} = A_{LRV} - A_{AQG}$$

$N_{LRV-AQG}$  = Gesundheitsnutzen von WHO-AQG-2021 im Vergleich zu aktuellen LRV-Grenzwerten  
 $A_{LRV}$  = Gesundheitsauswirkungen der Luftbelastung mit LRV-Werten.  
 $A_{AQG}$  = Gesundheitsauswirkungen der Luftbelastung mit WHO-AQG-2021-Werten

Formel 2: Berechnung des Gesundheitsnutzens von WHO-AQG-2021 im Vergleich zu Immissionswerten im Jahr 2019.

$$N_{2019-AQG} = A_{2019} - A_{AQG}$$

$N_{2019-AQG}$  = Gesundheitsnutzen von WHO-AQG-2021 im Vergleich zu Immissionswerten vom Jahr 2019.  
 $A_{2019}$  = Gesundheitsauswirkungen der Luftbelastung mit Immissionswerte 2019.  
 $A_{AQG}$  = Gesundheitsauswirkungen der Luftbelastung mit WHO-AQG-2021-Werte

Um diese Gesundheitsauswirkungen zu quantifizieren, werden spezifische Gesundheitsfolgenabschätzungen für Sterblichkeit und Morbidität (d.h. Krankheitsfälle bzw. -

folgen) durchgeführt. Dafür braucht es Belastungsdaten aus der Schweiz für die ausgewählten Luftschadstoffe, Sterblichkeit und Morbiditätsdaten für die ausgewählten Krankheiten für die Schweiz sowie die entsprechenden Belastungs-Wirkungsbeziehungen aus der internationalen epidemiologischen Literatur.

Formel 3 und Formel 4 zeigen, wie die Gesundheitsauswirkungen berechnet wurden und wie die Effektschätzer für verschiedenen Konzentrationen berechnet wurden. Als Schwellenwerte (d.h. Konzentrationen, unterhalb derer Effekte nicht quantifiziert werden) für die mittlere Konzentration wurden die WHO-AQG-2021-Werte für PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub> ausgewählt. Diese stellen die niedrigsten Konzentrationen dar, bei denen Gesundheitseffekten nachgewiesen wurden sind (WHO 2021). Diese Auswahl führte implizit zu der Annahme, dass die Belastung im Referenzszenario (WHO-AQG-2021-Werte) keine Gesundheitseffekte verursacht ( $A_{AQG}$  in Formel 1 und Formel 2 werden Null).

Formel 3: Berechnung der Gesundheitsauswirkungen (Soares et al. 2022).

$$A = GD * \left(1 - \frac{1}{EE_B}\right)$$

A = Gesundheitsauswirkungen der Luftbelastung (Anzahl Fälle 2019).  
 GD = Gesundheitsdaten (Inzidenz des Gesundheitsendpunktes).  
 EE<sub>B</sub> = Effektschätzer für die relevante Expositionsdifferenz B (spezifisch für jedes Schadstoff-Gesundheitsendpunkt Paar).

Formel 4: Anpassung der Effektschätzer an die für die Berechnung relevante Konzentration wird auf der Log-Skala linear skaliert (Soares et al. 2022).

$$EE_B = e^{\ln(EE_A) * \frac{C_B - C_0}{C_A}}$$

EE<sub>B</sub> = Effektschätzer für die relevante Expositionsdifferenz.  
 EE<sub>A</sub> = Effektschätzer aus der in der Literatur für eine standardisierte Differenz in der Luftbelastung (z.B. pro 10 oder 5 µg/m<sup>3</sup>).  
 C<sub>B</sub> = relevante Konzentrationsdifferenz B.  
 C<sub>0</sub> = Schwellenwertkonzentration («Counterfactual» auf Englisch).  
 C<sub>A</sub> = standardisierte Konzentrationsdifferenz A (z.B. Effektschätzer-Inkrement pro 10 oder 5 µg/m<sup>3</sup> wie in der Literatur).

Für die Berechnungen des Gesundheitsnutzen der WHO-AQG-2021-Werte und der LRV-Grenzwerte wurde angenommen, dass die ganze Bevölkerung genau gegenüber dem WHO-AQG-2021-Wert oder dem LRV-Grenzwert exponiert ist. Da eine solche Gleichverteilung der Schadstoffe nicht realistisch ist, bedeutet dies implizit, dass angenommen wird, dass an einigen Orten die Grenzwerte überschritten und an anderen Orten unterschritten werden. Würden überall die Grenzwerte eingehalten, wäre die mittlere Konzentration tiefer als der Grenzwert und entsprechend der gesundheitliche Nutzen.

Wir verwendeten zwei Indikatoren für die Sterblichkeit: a) vorzeitige Todesfälle und b) verlorene Lebensjahre. Die Berechnung der Sterblichkeit basiert auf Gesundheitsdaten in Form von Sterbetafeln, d.h. Tabellen mit Sterbewahrscheinlichkeiten nach Alter und Geschlecht. Details zu Formeln der Sterbetafel-Methode sind im Appendix einer Publikation des Projekts QHIAS zu

finden (Castro et al. 2023). Für die Berechnung der verlorenen Lebensjahre wurde keine korrigierte Diskontrate verwendet.

Dazu berechneten wir die Morbidität mit Gesundheitsdaten in Form von Einzelwerten für die entsprechenden Altersgruppen. Für die Auswahl der Altersgruppen wurde ein «at-least»-Ansatz verwendet, d.h. die Altersgruppen (nämlich Erwachsene, Senioren, Kinder und Säuglinge) der Gesundheitsdaten stammen (wenn möglich) mit den Altersgruppen, für welche die Effektschätzer gelten, überein. Das ist etwas konservativer als ein «best-guess»-Ansatz, bei dem die Effektschätzer auf die Gesundheitsdaten auf die Gesamtbevölkerung (anstatt konkreten Altersgruppen) angewendet werden.

## 3.2 Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

Für die Auswahl der Gesundheitsauswirkungen im Zusammenhang mit Luftschadstoffen wurde folgendes Vorgehen angewendet:

1. Screening der Literatur um eine Vorauswahl von möglichen Schadstoff-Gesundheitsendpunkten zu identifizieren
2. Finale Auswahl basierend auf Evidenzbewertung und Datenverfügbarkeit

### 3.2.1 Vorauswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkte

Die Vorauswahl der Schadstoff-Endpunkt-Paare wurden auf Basis der folgenden Literaturquellen getroffen:

- a) Das WHO-Projekt HRAPIE («Health risks of air pollution in Europe») (WHO 2013), das als Goldstandard für die Auswahl von gesundheitlichen Endpunkten und Effektschätzern für Gesundheitsfolgenabschätzungen in Europa gilt. Die Schadstoff-Endpunkte, die bei HRAPIE vorgeschlagen wurden, wurden in unserer Studie vorausgewählt.
- b) Die «Global Burden of Disease» (GBD) Studie 2019 (Murray et al. 2020), die eine der weltweit führenden Studien zur Gesundheitsrisikobewertung ist, und zusätzliche Evaluierungen (Ru et al. 2021). Die Liste der vorausgewählten Schadstoff-Endpunkte Kombinationen wurde um diejenigen erweitert, die in der GBD-Studie ausgewählt wurden.
- c) Die «United States Environmental Protection Agency Integrated Science Assessments» (US EPA ISAs) für Feinstaub (US EPA 2019) und NO<sub>2</sub> (US EPA 2016), die zu den umfassendsten Kausalitätsbewertungen zählen, welche die Ursächlichkeit zwischen einer Schadstoffbelastung und einem gesundheitlichen Endpunkt beurteilen. Die Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit (LUDOK) fasst die Schlussfolgerungen der US EPA ISAs zusammen (Kutlar Joss et al. 2020). Schadstoff-Endpunkte, die bei LUDOK gelistet wurden aber nicht bei HRAPIE oder GBD, wurden aufgenommen.
- d) Ein Review der luftverschmutzungsbedingte Gesundheitseffekte für Kinder der EEA, spezifisch aus dem European Topic Centre on Human Health and the Environment (Castro et al. 2022a). Relevante Schadstoff-Endpunkte mit Evidenz aus diesem Literaturreview wurden auch vorausgewählt.

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die 27 Gesundheitsendpunkte (im Folgenden als Endpunkte gekürzt) für PM<sub>2.5</sub> bzw. NO<sub>2</sub>, die wir für die GeLuft-Studie in Erwägung gezogen haben und die Gründe dafür. Die EEV-2010-Studie umfasste zehn Endpunkte für PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub> (hier gekürzt als PM<sub>2.5/10</sub>) und keinen Endpunkt für NO<sub>2</sub>. Alle EEV-2010-Endpunkte wurden bei der GeLuft-Studie vorausgewählt. Zusätzlich wurden in der GeLuft-Studie 17 neue Schadstoff-Endpunkt-Paare betrachtet, davon 11 für PM<sub>2.5</sub> und 6 für NO<sub>2</sub>.

Bei unseren vorausgewählten Endpunkten priorisierten wir Inzidenz gegenüber Prävalenz als Metrik. Für die Gesundheitsfolgenabschätzungen in einem einzelnen Jahr (hier 2019) sind die neu diagnostizierten Fälle in diesem Jahr (Inzidenz) besser geeignet als die Gesamtzahl. Darüber hinaus wurde für Asthma Inzidenz anstatt Anfälle als Metrik vorgeschlagen. Bezüglich der

Krankheitsdefinitionen ist anzumerken, dass chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen («COPD» auf Englisch gekürzt) ein klinischer Oberbegriff für chronische Bronchitis und akute Infektionen der unteren Atemwege («ALRI» auf Englisch) für akute Bronchitis sind.

Epidemiologische Studien zu Feinstaub verwenden PM2.5 oder PM10 als Schadstoffindikator. Grundsätzlich sind diese beiden Grössen stark korreliert und entsprechende Effektschätzer konvertierbar (Castro et al. 2022b). Bei der Auswahl der Effektschätzer wurde, wenn möglich, PM2.5 gegenüber PM10 priorisiert, da die Studienbasis derzeit für PM2.5 umfassender als für PM10 ist, und Metaanalysen in der Regel robustere Schätzer für PM2.5 zeigen. In der Schweiz sind Belastungsdaten und Grenzwerte für beide Feinstaubgrössen (PM2.5 und PM10) vorhanden.

Tabelle 2: Vorauswahl von Endpunkten für PM2.5 als Input für die Evidenzbewertung.

| Grund für die Aufnahme   | Schadstoff und Exposition      | Endpunkt   |
|--|--------------------------------|--|
| Wie bei EEV-2010 <sup>1</sup> (ARE 2014) basierend auf HRAPIE (WHO 2013) | PM2.5 langfristig <sup>2</sup> | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen   |
|  |                                | Säuglingssterblichkeit   |
|  |                                | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen  |
|  |                                | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern  |
|  | PM2.5 kurzfristig <sup>2</sup> | Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislaufkrankungen   |
|  |                                | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen   |
|  |                                | Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen  |
|  |                                | Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern  |
|  |                                | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen   |
|  |                                | Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden  |
| Umfassender Metrik für Asthma (Inzidenz anstatt Anfälle)                 | PM2.5 langfristig              | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen  |
|  |                                | Inzidenz von Asthma bei Kindern  |
| Wie bei GBD 2019 (Murray et al. 2020)                                    | PM2.5 langfristig              | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern (ALRI) <sup>3</sup>         |
|  |                                | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen bei Erwachsenen (COPD) <sup>4</sup> |
|  |                                | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen  |
|  |                                | Inzidenz von Frühgeburten  |
|  |                                | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                                    |
|  |                                | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen   |
|  |                                | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten                                     |
|  |                                | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen  |
| Bei GBD evaluiert (Ru et al. 2021) und genehmigt                         | PM2.5 langfristig              | Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen   |

<sup>1</sup> Mit der Ausnahme von Asthmaanfälle bei Erwachsenen. In diesem Fall hat die Studie EEV-2010 ohne explizite Empfehlung von HRAPIE dazu genommen.

<sup>2</sup> Die Effektschätzer von Sterblichkeit, Spitaleintritte, eingeschränkter Aktivität und Erwerbsausfall beziehen sich bei HRAPIE auf PM2.5. Die übrigen Endpunkte auf PM<sub>10</sub>.

<sup>3</sup> Akute Infektionen der unteren Atemwege ist ein Überbegriff für akuter Bronchitis und wurde diesen Endpunkt ersetzen.

<sup>4</sup> Chronische obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) ist ein Überbegriff für chronischer Bronchitis und wurde diesen Endpunkt ersetzen.

Tabelle 3: Vorauswahl von Endpunkten für NO<sub>2</sub> als Input für die Evidenzbewertung.

| Ursprung der Vorauswahl  | Schadstoff und Exposition   | Endpunkt   |
|--|-----------------------------|--|
| Wie empfohlen bei HRAPIE (WHO 2013)  | NO <sub>2</sub> langfristig | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                     |
|  |                             | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern <sup>1</sup> |
| Wie gezeigt bei LUDOK (Kutlar Joss et al. 2020) basierend auf US EPA ISA für NO <sub>2</sub> (US EPA 2016) | NO <sub>2</sub> langfristig | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen   |
|  |                             | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen  |
| Wie gezeigt bei einem ETC-Bericht für Kinder (Castro et al. 2022a)   | NO <sub>2</sub> langfristig | Inzidenz von Asthma bei Kindern  |
|  |                             | Inzidenz von Leukämie bei Kindern  |

<sup>1</sup> HRAPIE hat empfohlen akuter Bronchitis aber wir beziehen uns auf akute Infektionen der unteren Atemwege (ALRI), ein Überbegriff, um konsistent mit PM2.5 zu werden.

### 3.2.2 Finale Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkte

Für die finale Auswahl der Endpunkte wurden folgenden Kriterien angewendet:

- Ausreichende Evidenz (Kausalität oder Assoziation)
- Verfügbarkeit von Effektschätzern
- Verfügbarkeit von Gesundheitsdaten.

Die gesammelten Daten zu den drei Auswahlkriterien (nämlich Evidenz, Effektschätzer und Gesundheitsdaten) sind im Appendix A (Tabelle A 1 bis Tabelle A 5) dargestellt. Auf der Grundlage der verfügbaren Daten aus der Literatur bewerteten wir die Auswahlkriterien für jedes Schadstoff-Endpunkt-Paar (Tabelle 5). Für die Bewertung der Evidenz priorisierten wir die Empfehlungen des WHO-Projekts HRAPIE (WHO 2013) sowie die ausführliche Kausalitätsanalyse aus den US EPA ISAs (US EPA 2016; US EPA 2019). Ansonsten berücksichtigten wir die Ergebnisse eines Reviews zur verkehrsbedingten Luftverschmutzung aus dem Jahr 2022 des «Health Effects Institutes» (HEI). Effektschätzer aus europäischen Kohortenstudien und Metaanalysen von Literaturreviews und Gesundheitsdaten aus der Schweizer Statistik so wie Schätzungen wie z.B. aus der GBD Studie wurden berücksichtigt. Vorausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkte mit unzureichender Evidenz, keinem Effektschätzer und keinen Gesundheitsdaten wurden nicht ausgewählt.

Tabelle 4 Auswahlkriterien für die Evidenz

| Evidenzbewertung gemäss Quelle   | GeLuft-Auswahl   |
|--|------------------|
| Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA   | Ausgewählt       |
| Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)  |                  |
| Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI <sup>1</sup> |                  |
| Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI                                  | Nicht ausgewählt |

<sup>1</sup> Review mit Fokus auf Folgen verkehrsbedingter Luftbelastung des Health Effect Instituts (HEI) (HEI 2022). Das HEI Review zeigt zwei Bewertungen mit der folgenden Skala: Extrem niedrig, sehr niedrig, niedrig, moderat, stark. Die erste Bewertung bezieht sich auf die Assoziationsstärke von mehreren verkehrsassoziierten Luftschadstoffen (PM2.5, PM10, NO<sub>2</sub> und Elementarer Kohlstoff) und die zweite Bewertung den spezifischen Schadstoff. Wir betrachten die Evidenz als ausreichend, wenn sie in der Quelle mindestens als «moderat» bei dem ersten Wert und «niedrig» bei dem zweiten Wert (d.h. «moderat-niedrig») gemäss der Quelle bewertet wurde. Der zweite Wert hängt von der Anzahl Studien ab, die dadurch beeinflusst werden kann, dass das Review nur verkehrsbedingte Studien betrachte. Daraus ergibt sich unser niedrigeres Anforderungsniveau beim zweiten Wert (spezifisch für einen Schadstoff) als beim ersten Wert (allgemein für die vier Schadstoffe).

Tabelle 5 und Tabelle 6 fassen die Bewertung zusammen und zeigen die ausgewählten Endpunkte sowie die nicht ausgewählten Endpunkte (mit einer Begründung) für PM2.5 bzw. NO<sub>2</sub>. Die detaillierten Ergebnisse dieser Bewertung befinden sich im Appendix A.

Gesundheitsdaten und Effektschätzer sind für alle vorausgewählten Schadstoff-Endpunkt-Paare in der Literatur verfügbar. Für die Paare PM2.5-Asthma bei Erwachsenen, PM2.5-Frühgeburt und NO<sub>2</sub>-Leukämie bei Kindern ist die Evidenz unzureichend. Daher wurden sie von unserer Quantifizierung des Gesundheitsnutzen ausgeschlossen.

Um das Risiko von Doppelzählungen zu minimieren, wurden Überschneidungen zwischen Schadstoffen und Endpunkten ausgeschlossen. Das heisst, ein bestimmter Endpunkt wurde nur im Zusammenhang mit einem Schadstoff ausgewählt. Die Gesundheitsauswirkungen mit dem anderen Schadstoff wurde nur in einer Sensitivitätsanalyse berechnet, welche im Appendix B verfügbar ist und nicht zu der Hauptanalyse addiert wurde. Die folgenden Endpunkte aus der EEV-2010 wurden modifiziert: Chronische Bronchitis wurde durch den Oberbegriff «chronische obstruktive Lungenerkrankungen» (COPD), akute Bronchitis durch den Endpunkt «akute Infektionen der unteren Atemwege» (ALRI) sowie Asthmaanfälle durch die umfassendere Metrik Inzidenz von Asthma ersetzt. Zudem wurden die Asthma Endpunkte nur für NO<sub>2</sub> berücksichtigt (und nicht für PM2.5), da die Evidenz stärker ist. Im Gegensatz dazu wurden die anderen NO<sub>2</sub>-Endpunkte, nämlich Sterblichkeit, akute Infektionen der unteren Atemwege («ALRI») und Spitaleintritte durch PM2.5 abgedeckt (und für NO<sub>2</sub> nur in der Sensitivitätsanalyse im Appendix B gezeigt).

Tabelle 5: Berücksichtigte und ausgewählte Endpunkte für PM2.5

|                               | Endpunkt  | Auswahl  |
|-------------------------------|---|--|
| PM2.5 langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | Ausgewählt   |
|                               | Säuglingssterblichkeit  | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen   | Nicht ausgewählt<br>(unzureichende Evidenz)  |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | Nicht ausgewählt<br>(Überschneidung mit NO <sub>2</sub> ), aber im Appendix gezeigt    |
|                               | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern (ALRI)         | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen                             | Nicht ausgewählt<br>(Überschneidung mit COPD), aber im Appendix gezeigt                |
|                               | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen bei Erwachsenen (COPD) | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen  | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Frühgeburten   | Nicht ausgewählt<br>(unzureichende Evidenz)  |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten                                       | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen  | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten                        | Ausgewählt   |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen                                     | Ausgewählt   |
|                               | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern                                     | Nicht ausgewählt<br>(Überschneidung mit ALRI) aber im Appendix gezeigt                 |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen                              | Ausgewählt   |
|                               | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen                                      | Ausgewählt   |
|                               | Tage von Asthmaanfällen bei Erwachsenen   | Nicht ausgewählt<br>(unzureichende Evidenz)  |
|                               | Tage von Asthmaanfällen bei Kindern   | Nicht ausgewählt<br>(Überschneidung mit Inzidenz von Asthma), aber im Appendix gezeigt |
|                               | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen                              | Ausgewählt   |
|                               | Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden   | Ausgewählt   |

Tabelle 6: Berücksichtigte und ausgewählte Endpunkte für NO<sub>2</sub>

|   | Endpunkt  | Auswahl   |
|---|---|---|
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                        | Nicht ausgewählt (Überschneidung mit PM2.5), aber im Appendix gezeigt |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | Nicht ausgewählt (Überschneidung mit PM2.5), aber im Appendix gezeigt |
|   | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                                     | Ausgewählt  |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | Ausgewählt  |
|   | Inzidenz von Leukämie bei Kindern                                       | Nicht ausgewählt (unzureichende Evidenz)                              |
|   | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen                              | Nicht ausgewählt (Überschneidung mit PM2.5) aber im Appendix gezeigt  |

### 3.3 Inputdaten

#### 3.3.1 Luftbelastung

Das Referenzszenario (AQG-2021-Werte (WHO 2021) für PM2.5 (5 µg/m<sup>3</sup>) und für NO<sub>2</sub> (10 µg/m<sup>3</sup>) wurde mit zwei Vergleichsszenario verglichen. Als erstes Vergleichsszenario verwendeten wir die aktuelle LRV vom 16. Dezember 1985 (LRV; SR 814.318.142.1, Stand am 1. Januar 2023) für PM2.5 (10 µg/m<sup>3</sup>) und NO<sub>2</sub> (30 µg/m<sup>3</sup>). Als zweites Vergleichsszenario verwendeten wir Bevölkerungsimmissionsdaten für das Jahr 2019 aus dem Modell PolluMap (Künzle 2021), mit einer Auflösung von 100 m x 100 m. Die Firma Meteotest lieferte die bevölkerungsgewichteten Jahresmittelwerte in der Schweiz für PM2.5 (8.3 µg/m<sup>3</sup>) und NO<sub>2</sub> (16.32 µg/m<sup>3</sup>) im Jahr 2019 (Meteotest 2022). Dabei fällt auf, dass die mittleren Immissionswerte im Jahr 2019 bereits unter den LRV-Immissionsgrenzwerten liegen.

Sowohl für die lang- als auch für die kurzfristigen Gesundheitseffekte verwendeten wir jährlichen Belastungsdaten. Dieser Ansatz wurde auch bei EEV-2010 (ARE 2014) angewandt.

#### 3.3.2 Effektschätzer

Für jede Schadstoff-Endpunkt-Paare wurde mindestens ein Effektschätzer aus der Literatur identifiziert (siehe Tabelle A 3 und Tabelle A 4 im Appendix). Wenn mehrere Effektschätzer vorhanden waren, wurde eine Auswahl getroffen. Wir priorisierten die Effektschätzer aus dem Projekt ELAPSE («Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe») und aus dem etwas älteren Projekt ESCAPE («European Study of Cohorts for Air Pollution Effects»). Beide Projekte betrachten ausschliesslich europäische Kohorten, inklusive Schweizer Daten in manchen Auswertungen. Damit repräsentieren die Effektschätzer die Bedingungen in der Schweiz am besten. Ansonsten wurden weitere Metaanalysen berücksichtigt, wobei solchen mit einem hohen Anteil an europäischen Studien den Vorzug gegeben wurde. Tabelle 7 zeigt die ausgewählten Effektschätzer, die für die Quantifizierung der Gesundheitseffekte der ausgewählten Schadstoff-Endpunkt-Paare verwendet wurden.

Tabelle 7: Ausgewählte Effektschätzer für die ausgewählte Schadstoff-Endpunkt Paare.

|                               | Endpunkt  | Effektschätzer   |   |  |
|-------------------------------|---|--|---|--|
|                               |   | Standardisiert pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Wie in der Quelle<br>(vor<br>Standardisierung):<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Quelle   |
| PM2.5 langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | 1.118 [1.060; 1.179]   | 1.118 [1.06; 1.179] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                             | Metaanalyse von 8 europäischen ELAPSE Kohortenstudien (Brunekreef et al. 2022)                   |
|                               | Säuglingssterblichkeit  | 1.058 [0.972; 1.161]   | 1.04 [0.98; 1.11] pro 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Studie basiert auf 3.5 Millionen Kindern in den USA (Woodruff et al. 2008)                       |
|                               | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | 1.120 [1.030; 1.300]   | 1.12 [1.03; 1.3] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Bayesian Metaanalyse von 4 Studien, 2 davon in Europa (Mehta et al. 2013)                        |
|                               | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 1.369 [1.124; 1.664]   | 1.17 [1.06; 1.29] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Gepoolte Analyse aus 3 europäische Kohorten des Projekts ELAPSE (Liu et al. 2021a)               |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren  | 2.594 [0.590; 11.506]  | 1.21 [0.9; 1.63] pro 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                 | Metaanalyse von 6 Studien aus Europa (Wilker et al. 2023)  |
|                               | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | 1.102 [0.922; 1.322]   | 1.05 [0.96; 1.15] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Metaanalyse von 11 Studien, 3 davon aus Europa (Yang et al. 2020)                                |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                       | 1.277 [0.960; 1.690]   | 1.13 [0.98; 1.3] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                 | Metaanalyse von 11 europäische Kohorten (fünf Länder) des Projekts ESCAPE (Cesaroni et al. 2014) |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen  | 1.277 [1.102; 1.513]   | 1.13 [1.05; 1.23] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Gepoolte Analyse aus 7 europäische Kohorten des Projekts ELAPSE (Hvidtfeldt et al. 2021)         |
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten                        | 1.392 [1.124; 1.769]   | 1.18 [1.06; 1.33] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Metaanalyse von 14 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013)  |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen                                     | 1.210 [1.020; 1.464]   | 1.10 [1.01; 1.21] pro 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                                | Gepoolte Analyse aus 7 europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Wolf et al. 2021)              |

|   | Endpunkt   | Effektschätzer   |   |   |
|---|--|--|---|---|
|   |  | Standardisiert pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Wie in der Quelle<br>(vor<br>Standardisierung):<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Quelle  |
| PM2.5 kurzfristige Exposition           | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen         | 1.019 [0.998; 1.040]   | 1.019 [0.998; 1.04] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                             | APED Metaanalyse von drei Einzelstädtestudien (WHO 2013)  |
|   | Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen    | 1.009 [1.001; 1.017]   | 1.009 [1.001; 1.017] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                            | APED Metaanalyse von vier Einzelstädtestudien und einer Multicenterstudie (WHO 2013)                                  |
|   | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen | 1.049 [1.029; 1.070]   | 1.0493 [1.0288; 1.0702] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                         | Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrössen (Jahre 1976-1981) aus USA (Ostro 1987) |
|   | Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden            | 1.070 [0.977; 1.148]   | 1.0699 [0.9971; 1.1481] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5                         | Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrössen (Jahre 1976-1981) aus USA (Ostro 1987) |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                | 1.100 [0.990; 1.210]   | 1.10 [0.99; 1.21] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO <sub>2</sub>                     | Metaanalyse von 6 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013)                        |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern                    | 1.050 [0.990; 1.120]   | 1.05 [0.99; 1.12] pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO <sub>2</sub>                     | Metaanalyse von 12 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)  |

### 3.3.3 Gesundheitsdaten

Daten zum Auftreten der Gesundheitsendpunkte wurden systematisch erhoben. Wenn für einen Endpunkt mehrere Datenquellen vorlagen, priorisierten wir systematische Datenerhebungen aus der Schweiz, z.B. vom Bundesamt für Statistik (BFS). Wenn diese nicht zur Verfügung standen, verwendeten wir Schätzungen für die Schweiz aus der GBD-Studie und ansonsten internationale Schätzungen (nicht spezifisch für die Schweiz). Tabelle 8 zeigt die Gesundheitsdaten sowie die Datenquellen, die für die Quantifizierung der Gesundheitseffekte der ausgewählten Schadstoff-Endpunkt-Paare verwendet wurden. Für die nicht ausgewählten Endpunkte sind die Daten in Tabelle A 5 im Appendix zusammengestellt.

Tabelle 8: Daten zur Häufigkeit der ausgewählten Gesundheits-Endpunkte

|                      | Endpunkt  | Gesundheitsdaten           |   |   |
|----------------------|---|----------------------------|---|---|
|                      |   | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (pro 100'000 Personenjahre) | Quelle  |
| Langfristige Effekte | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | Nach Alter und Geschlecht  | Nach Alter und Geschlecht                   | Sterbewahrscheinlichkeit: 5-Jahre Durchschnitt (2015-2015). Nicht natürliche Sterblichkeit: 10-Jahre Durchschnitt (2010-2019). Bevölkerung: Durchschnitt Ende 2018 und 2019 |
|                      | Säuglingssterblichkeit  | Nach Alter und Geschlecht  | Nach Alter und Geschlecht                   | Alle Daten nach Alter (20+ für Erwachsene und 0 für Säuglingen) und Geschlecht aus dem Bundesamt für Statistik (BFS 2021; BFS 2022e; BFS 2022f)                             |
|                      | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | 9'413                      | 109.38                                      | Fälle (Infektion der unteren Atemwege) 2019 im Alter 5-19 aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup>                                       |
|                      | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 30'747                     | 357.27                                      | Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup>   |
|                      | Inzidenz von Demenz bei Senioren  | 18'361                     | 213.35                                      | Fälle 2019 im Alter 55+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020). Bezeichnet als «Alzheimer und andere Demenzen».  |
|                      | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | 28'542                     | 331.65                                      | Fälle 2019 im Alter 20+: 28'542. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup>  |
|                      | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                       | 29'730                     | 345.46                                      | Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup>   |
|                      | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen  | 4'800                      | 55.78                                       | Fälle pro Jahr (Alle Altersklassen, Durchschnitt 2015-2019). Daten aus der Nationale Krebsregistrierungsstelle (NKRS 2022) <sup>1,2</sup>                                   |
|                      | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten                        | 2'154                      | 25.03                                       | Neugeborene 2019 und Anteil mit niedrigem Geburtsgewicht und Frühgeburten aus BFS (BFS 2022b) <sup>1</sup>  |

<sup>1</sup> Erkrankungsrate berechnet mit der Bevölkerung 2019 aus BFS (BFS 2022f).

<sup>2</sup> Keine spezifischen Daten für Erwachsene. Es wurde angenommen, dass Anzahl Fälle bei Kindern vernachlässigbar ist.

|                      | Endpunkt   | Gesundheitsdaten           |   |  |
|----------------------|--|----------------------------|---|--|
|                      |  | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (pro 100'000 Personenjahre) | Quelle   |
|                      | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen        | 21'041                     | 244.49                                      | Fälle 2020 für alle Alter aus BFS (BFS 2022c) <sup>1,2</sup>   |
| Kurzfristige Effekte | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen         | 90'363                     | 1'050                                       | Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 (BFS 2022a)  |
|                      | Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen    | 159'211                    | 1'850                                       | Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 (BFS 2022a)  |
|                      | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen | 134'209'768                | 1'559'490.68                                | Tage pro Erwachsene aus Studie in USA (Ostro and Rothschild 1989)                                    |
|                      | Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden            | 33'881'630                 | 384'756.19                                  | Tage pro Arbeitenden aus Studie in USA (Ostro and Rothschild 1989)                                   |
|                      | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                | 19'604                     | 227.79                                      | Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup>  |
|                      | Inzidenz von Asthma bei Kindern                    | 10'580                     | 122.94                                      | Fälle 2019 im Alter 5-19 aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) <sup>1</sup> |

### 3.4 Software

Die Datenanalyse programmierten wir in R Sprache (version 4.0.3) (R Core Team 2020) und verwendeten R Studio (Version 1.3.1093) (RStudio Team 2020). Darüber hinaus verwendeten wir die folgenden R-Pakete: zoo (Zeileis and Grothendieck 2005), meta (Balduzzi et al. 2019) sowie tidyverse-Packungen (Wickham et al. 2019), nämlich readxl (Wickham and Bryan 2022), dplyr (Wickham et al. 2022), tidyr (Wickham and Girlich 2022), purrr (Henry and Wickham 2020), tibble (Müller and Wickham 2022), stringr (Wickham 2022).

## 4. ERGEBNISSE

Tabelle 9 zeigt den Gesundheitsnutzen in der Schweiz, wenn die mittlere Luftbelastung (PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub>) den WHO-AQG-2021-Werten entspricht. Im Jahr 2019 würden im Vergleich zu einer Expositionssituation gemäss PM<sub>2.5</sub>-LRV-Immissionsgrenzwerte 3'368 luftverschmutzungsbedingte Todesfälle (35'800 verlorene Lebensjahre) bei Erwachsenen vermieden werden (Szenario 1). Im Vergleich zum bevölkerungsgewichteten Immissionswerts des Jahres 2019 könnten 2'245 Todesfälle (23'851 verlorene Lebensjahre) vermieden werden (Szenario 2).

Zusätzlich quantifizierten wir den Gesundheitsnutzen für 14 Morbiditätsendpunkte. Die mittlere Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte für PM<sub>2.5</sub> würde im Szenario 1 zu einer Reduktion von rund 3 Millionen Tage mit eingeschränkter Aktivität beitragen (Szenario 2: ca. 2 Millionen Tage mit eingeschränkter Aktivität). Zudem könnte eine beträchtliche Zahl an Fällen von COPD (PM<sub>2.5</sub>), Demenz (PM<sub>2.5</sub>) und Asthma (NO<sub>2</sub>) vermieden werden (Tabelle 8). Beispielsweise würde die Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts für NO<sub>2</sub> im Szenario 1 zu rund 3'400 weniger Fällen von Asthma bei Erwachsenen führen bzw. 1'100 im Szenario 2.

Detaillierte Ergebnisse mit Konfidenzintervallen aus der Effektschätzer befinden sich im Appendix (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ergebnisse für alternative Gesundheitsdaten und Effektschätzer, sowie für nicht ausgewählte Endpunkte sind ebenfalls im Appendix (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. bis Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) verfügbar.

Tabelle 9: Luftverschmutzungsbedingte (PM2.5 und NO<sub>2</sub>) Gesundheitsauswirkungen, die 2019 durch die Umsetzung der 2021 WHO Air Quality Guidelines vermieden würden.

|   | Endpunkt  | Vermeidbare Gesundheitsauswirkungen mit einer mittleren Luftbelastung wie WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5, 10 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) im Vergleich zu... |   |
|---|---|--|---|
|   |   | einer Luftbelastung wie de LRV-Grenzwerte (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5, 30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) – Szenario 1   | berechneten Immissionen 2019 (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5, 16.32 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) – Szenario 2 |
| PM2.5 langfristige Exposition                       | Todesfälle bei Erwachsenen  | 3'368  | 2'245   |
|   | Todesfälle bei Säuglingen   | 8  | 6   |
|   | Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen   | 35'800   | 23'851  |
|   | Verlorene Lebensjahre bei Säuglingen  | 685  | 454   |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | 519  | 346   |
|   | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 13'343   | 9'039   |
|   | Inzidenz von Demenz bei Senioren  | 6'960  | 4'955   |
|   | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | 1'359  | 904   |
|   | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                       | 2'176  | 1'466   |
|   | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen  | 503  | 339   |
|   | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten                        | 329  | 223   |
|   | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen                                     | 879  | 589   |
|   | PM2.5 kurzfristige Exposition   | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen   | 846   |
| Spitaleintritte wegen Herz- / Kreislauferkrankungen |   | 712  | 470   |
| Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen  |   | 3'190'765  | 2'114'508   |
| Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden             |   | 1'125'491  | 747'083   |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition             | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen   | 3'402  | 1'146   |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | 984  | 321   |

## 5. DISKUSSION

Eine Reduktion der Luftbelastung (PM<sub>2.5</sub> und NO<sub>2</sub>) in der Schweiz auf das Niveau der neuen WHO-AQG-2021-Werte würde einen deutlichen Gesundheitsnutzen bringen. Die luftverschmutzungsbedingte Sterblichkeit und 14 verschiedenen Krankheitsfälle könnten damit reduziert werden. Beispielweise wären im Vergleich zu den aktuellen LRV-Grenzwerten rund 3'400 und im Vergleich zu den Immissionen des Jahres 2019 rund 2'250 Todesfälle weniger auf PM<sub>2.5</sub> zurückzuführen. Durch die Einhaltung der Richtwerte der WHO für NO<sub>2</sub> könnten im Vergleich zu einer Belastung auf dem Niveau des LRV-Grenzwerts rund 3'400 Fälle von Asthma bei Erwachsenen vermieden und über 1'100 Fälle im Vergleich zur berechneten NO<sub>2</sub>-Belastung im Jahr 2019 vermieden werden. Die Abschätzungen zeigen, dass erhebliche Gesundheitsnutzen erzielt werden können, wenn sich kantonale und nationale Behörden mit Nachdruck dem Vollzug der lufthygienischen Massnahmen widmen, um die in der WHO-AQG-2021 formulierten Ziele zu erreichen. In der Vergangenheit haben die bereits in Kraft stehenden Luftreinhaltemassnahmen zu deutlich abnehmenden Trends bei der Luftbelastung geführt. Mit einer konsequenten Anpassung der Emissionsvorschriften an den fortschreitenden Stand der Technik und einer zügigen Umsetzung von Massnahmenplänen bei allen Quellen, sind weitere Verbesserungen der Luftqualität in der Schweiz möglich.

Unsere Ergebnisse der Quantifizierung des Gesundheitsnutzens sind nicht als exakte Werte, sondern als Schätzwerte zu interpretieren. Berechnungen basieren auf Annahmen, welche so realistisch wie möglich getroffen wurden. Zur Vermeidung von Doppelzählungen wurden einige Endpunkte nur im Appendix gerechnet und nicht zum Gesamtergebnis addiert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der NO<sub>2</sub>-Effekte auch unabhängig von der PM<sub>2.5</sub>-Belastung auftreten, insbesondere in Bezug auf die betrachtete Sterblichkeit und das Auftreten von Atemwegserkrankungen. Somit stellen die hier berechneten Effekte eher eine Unterschätzung der wahren Effekte dar.

Weiter ist zu beachten, dass eine Aktualisierung der LRV-Werte mit den neuen WHO-AQG-2021-Werten nicht «per se» eine sofortige Reduktion der Luftbelastung bedeutet. Auch haben viele Gesundheitsendpunkte eine gewisse Latenzzeit, so dass der berechnete Gesundheitsnutzen erst in der Zukunft zu erwarten ist. Auf der anderen Seite ist zu beachten, dass es langfristig das Ziel sein sollte, die neuen WHO-AQG-2021-Richtwerte überall in der Schweiz einzuhalten. Das impliziert, dass ein erheblicher Teil der Bevölkerung weniger Luftschadstoffen ausgesetzt ist als in der WHO-AQG-2021 ausgewiesen ist. Damit wäre auch die mittlere Exposition der Bevölkerung tiefer als die WHO-AQG-2021-Richtwerte und entsprechend der Gesundheitsnutzen grösser als hier ausgewiesen, wenn man davon ausgeht, dass unterhalb der WHO-AQG-2021-Richtwerte auch noch Gesundheitseffekte zu erwarten sind.

Hinsichtlich unserer Inputdaten sind die folgenden Aspekte zu beachten. Die Auswahl der Schadstoff-Endpunkt-Paare hängt vom aktuellen Stand des Wissens bzw. der publizierten Literatur ab. Wenn neue Evidenz publiziert wird, könnte sich die Auswahl in Zukunft ändern. Darüber hinaus hat die Auswahl der Effektschätzer einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse der Quantifizierung. Wir wählten die aus unserer Sicht für die Schweiz am besten geeigneten Effektschätzer aus. Die gleiche Berechnung mit alternativen Effektschätzern (die ebenfalls methodologisch vertretbar wären) würde zu anderen Ergebnissen führen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** im Appendix). Beispielweise wurde der von uns gewählte Effektschätzer für Demenz in einer Metaanalyse ermittelt (Wilker et al. 2023). Wir wählten den Effektschätzer aus dieser Metaanalyse, die nur europäische Studien inkludierte (2.59 [0.59; 11.51]). Der Effektschätzer der Metaanalyse (aus derselben Publikation), die Studien weltweit inkludierte ist jedoch kleiner (1.22 [0.95; 1.54]), was in der Berechnung geringere Gesundheitsauswirkungen ergeben würde.

Für die meisten Endpunkte konnten Daten zu den Krankheitshäufigkeiten nicht aus der Schweizer Statistik erhoben werden, sondern wir mussten Schätzungen wie jene von der GBD-Studie verwenden. In den meisten Fällen (12 von 16 Endpunkte) waren jedoch die Daten oder die Schätzungen spezifisch für das Jahr 2019 und für die Schweiz und die entsprechende Altersgruppe. Die Daten aus der Schweizer Statistik waren nur für die Sterblichkeit spezifisch für das Jahr 2019 und für die entsprechende Altersgruppe. Kleine Abweichungen in den Jahren oder Altersgruppen (z.B. 2020 statt 2019 oder alle Altersgruppe statt nur Erwachsene wie bei Inzidenz von Schlaganfällen) beeinflussen die Ergebnisse jedoch nicht stark. Daher wurden in diesen Fällen Statistikdaten aus der Schweiz anstatt GBD-Schätzungen priorisiert.

Im Gegensatz zu EEV-2010 (ARE 2014) und QHIAS (Castro et al. 2022b), berechneten wir die Todesfälle und verlorenen Lebensjahre bei Erwachsenen für die Altersgruppe 20+ (anstatt 30+). Die Verwendung der Altersgruppe 30+ basierte auf der Empfehlung des WHO-Projekts HRAPIE (WHO 2013), aber die Altersgruppe 20+ kommt der Definition eines Erwachsenen näher und es ist plausibel anzunehmen, dass die Luftverschmutzung auch zu Gesundheitseffekte bei Erwachsenen unter 30 Jahren führt. Hätten wir die Berechnung der Sterblichkeit mit der Altersgruppe 30+ durchgeführt, wäre die z.B. die Anzahl Todesfälle um ca. 0.2% tiefer ausgefallen (2'240 für den Vergleich mit der Immission 2019).

Für die Berechnung der verlorenen Lebensjahre wurde keine Diskontrate wie dies bei den Berechnungen des Projekts EEV-2010 (ARE 2014) und QHIAS (Castro et al. 2023) der Fall war. In diesen beiden Projekten floss eine korrigierte Diskontrate von 0.99% (2% Diskontrate, 1% Wachstumsrate) in die Berechnungen ein. Die Anwendung der korrigierten Diskontrate ist für eine spätere Monetarisierung der Sterblichkeit zu empfehlen, um den Wert der verlorenen Lebensjahre in der Zukunft zu reduzieren. Hätten wir die korrigierte Diskontrate von 0.99% in unserer Berechnung verwendet, wären der Gesundheitsnutzen der verlorenen Lebensjahre bei Erwachsenen um 8.6% niedriger geworden (32'711 anstatt 35'800 im Szenario 1, 21'793 anstatt 23'851 im Szenario 2) gewesen. Bei Kindern wäre die Schätzung um 31.7% tiefer ausgefallen (468 anstatt 685 im Szenario 1, 310 anstatt 454 im Szenario 2).

Es ist auch zu beachten, dass wir für kurzfristige Gesundheitseffekte jährliche Immissionsdaten verwendeten. Für lineare Belastungs-Wirkungs-Beziehungen würden Ergebnisse von räumlich und zeitlichen Langzeitmodellierungen der täglichen Belastungsdaten gelten. Da unsere Belastungs-Wirkungs-Beziehung (log-linear) annähernd linear ist, sind wir davon ausgegangen, dass dieser Ansatz immer noch richtig ist. Möglicherweise würde die Verwendung zeitlich hochaufgelöster Immissionsdaten für kurzfristige Gesundheitseffekte zu etwas anderen Ergebnissen führen.

Es sei darauf hingewiesen, dass das WHO-Projekt HRAPIE-2 (Nachfolgeprojekt von HRAPIE) derzeit läuft und in Kürze neue Empfehlungen für Schadstoff-Endpunkt-Paare, Effektschätzer und Gesundheitsdaten publiziert werden (voraussichtlich Ende 2023). Diese Empfehlungen könnten international wieder zum Gold-Standard werden und sollten daher in Zukunft berücksichtigt werden.

## 6. SCHLUSSFOLGERUNG

Würden die Immissionswerte der Luftverschmutzung in der Schweiz auf die WHO-AQG-2021-Werte gesenkt, könnten viele Todesfälle und Erkrankungen vermieden werden. Deshalb wäre eine Aktualisierung der LRV mit den neuen WHO-AQG-2021-Werten nützlich. Mit einer konsequenten Anpassung der Emissionsvorschriften an den fortschreitenden Stand der Technik und einer zügigen Umsetzung von Massnahmenplänen bei allen Quellen, sind weitere Verbesserungen der Luftqualität in der Schweiz möglich.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

Abolhasani E, Hachinski V, Ghazaleh N et al. (2023) Air Pollution and Incidence of Dementia A Systematic Review and Meta-analysis 100:e242-e254 doi:10.1212/wnl.0000000000201419

Alexeeff SE, Liao NS, Liu X et al. (2021) Long-Term PM2.5 Exposure and Risks of Ischemic Heart Disease and Stroke Events: Review and Meta-Analysis Journal of the American Heart Association 10:e016890 doi:10.1161/JAHA.120.016890

Alzheimer Schweiz (2022) Demenz in der Schweiz 2022. Zahlen und Fakten.

ARE (2014) Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte., ECOPLAN

INFRAS edn. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE),

BAG (2022) Zahlen & Fakten zu Demenz. Bundesamt für Gesundheit (BAG).  
<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-fakten-demenz.html>.

Balduzzi S, Rücker G, Schwarzer G (2019) How to perform a meta-analysis with R: a practical tutorial Evidence Based Mental Health 22:153-160 doi:10.1136/ebmental-2019-300117

BFS (2021) Vollständige jährliche Sterbetafel, 2013-2020. Bundesamt für Statistik (BAFU),

Diagnosen bei Hospitalisierungen, nach ICD-10 Kapitel, Altersklasse und Geschlecht (2022a) Bundesamt für Statistik (BFS). <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/je-d-14.04.01.02.06>.

BFS (2022b) Gesundheit der Neugeborenen. Bundesamt für Statistik.  
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/gesundheit-neugeborenen.html>.

BFS (2022c) Herz- und Kreislauf-Erkrankungen. Bundesamt für Statistik.  
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/krankheiten/herz-kreislauf-erkrankungen.html>.

BFS (2022d) Krebs bei Kindern.  
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/krankheiten/krebs/bei-kindern.html>.

BFS (2022e) Öffentliche Statistiken zu Todesfällen, Übersterblichkeit, Todesursachen und meldepflichtigen Erkrankungen. Bundesamt für Statistik (BFS),

Ständige Wohnbevölkerung nach Alter, Kanton, Bezirk und Gemeinde, 2010-2021 (2022f) Bundesamt für Statistik (BFS).  
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/stand-entwicklung/raeumliche-verteilung.assetdetail.13707291.html>.

Erwerbstätige Total (Inlandkonzept). Durchschnittliche Jahreswerte (2023) Bundesamt für Statistik (BFS). <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/arbeits-erwerb/erwerbstaetigkeit-arbeitszeit/erwerbsbevoelkerung/arbeitsmarktstatus.assetdetail.24065500.html>.

Brändli O, Russi EW (2008) COPD / eine chronische Krankheit auf dem Vormarsch Schweizerische Ärztezeitung 89: 45 doi:<https://doi.org/10.4414/saez.2008.13922>

Brunekreef B, Andersen ZJ, Forastiere F et al. (2022) A proposal for sensitivity analyses of the health impacts of PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> in Europe, in support of the revision of the EU ambient Air Quality Standards for these pollutants. European Respiratory Society (ERS) and International Society for Environmental Epidemiology (ISEE)

Castro A, Kappeler R., Kienzler S et al. (2022a) Environmental health risks to children and adolescents: an umbrella review on indoor and outdoor air pollution. European Topic Centre on Human Health and the Environment),

Castro A, Künzli N, de Hoogh K et al. (2023) Mortality attributable to ambient fine particulate matter and nitrogen dioxide in Switzerland in 2019: Use of two-pollutant effect estimates Environ Res 231:116029 doi:[10.1016/j.envres.2023.116029](https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116029)

Castro A, Rössli M, de Hoogh K et al. (2022b) Methods Matter: A Comparative Review of Health Risk Assessments for Ambient Air Pollution in Switzerland Public Health Reviews 43 doi:[10.3389/phrs.2022.1604431](https://doi.org/10.3389/phrs.2022.1604431)

Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M et al. (2014) Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project BMJ : British Medical Journal 348:f7412 doi:[10.1136/bmj.f7412](https://doi.org/10.1136/bmj.f7412)

Ciabattini M, Rizzello E, Lucaroni F et al. (2021) Systematic review and meta-analysis of recent high-quality studies on exposure to particulate matter and risk of lung cancer Environmental Research 196:110440 doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110440>

ECRHS (1996) Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medication in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) European Respiratory Journal 9:687-695

EEA (2021) Health impacts of air pollution in Europe, 2021 vol Briefing no. 19/2021. doi:[10.2800/08097](https://doi.org/10.2800/08097)

Gehring U, Wijga AH, Hoek G et al. (2015) Exposure to air pollution and development of asthma and rhinoconjunctivitis throughout childhood and adolescence: a population-based birth cohort study The Lancet Respiratory Medicine 3:933-942 doi:[https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00426-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00426-9)

Ghosh R, Causey K, Burkart K et al. (2021) Ambient and household PM<sub>2.5</sub> pollution and adverse perinatal outcomes: A meta-regression and analysis of attributable global burden for 204 countries and territories PLOS Medicine 18:e1003718 doi:[10.1371/journal.pmed.1003718](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003718)

HEI (2022) Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Health Effects Institute,

Henry L, Wickham H (2020) purrr: Functional Programming Tools. R package version 0.3.4.

Hoek G, Krishnan RM, Beelen R et al. (2013) Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review Environmental Health 12:43 doi:[10.1186/1476-069X-12-43](https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43)

Hoek G, Pattenden S, Willers S et al. (2012) PM10, and children's respiratory symptoms and lung function in the PATY study European Respiratory Journal 40:538 doi:10.1183/09031936.00002611

Hvidtfeldt UA, Severi G, Andersen ZJ et al. (2021) Long-term low-level ambient air pollution exposure and risk of lung cancer – A pooled analysis of 7 European cohorts Environment International 146:106249 doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106249

GBD 2019 Results Tool (2020) Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>. Accessed 2020

Khreis H, Kelly C, Tate J et al. (2017) Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis Environment International 100:1-31 doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.012

Kihal-Talantikite W, Marchetta GP, Deguen S (2020) Infant Mortality Related to NO<sub>2</sub> and PM Exposure: Systematic Review and Meta-Analysis Int J Environ Res Public Health 17 doi:10.3390/ijerph17082623

Künzle T (2021) E-mail Communication with Thomas Künzle (METEOTEST) regarding availability of short-term air pollution exposure data in Switzerland.

Künzli N, Kaiser R, Medina S et al. (1999) Air Pollution Attributable Cases Technical Report on Epidemiology. Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. .

Kutlar Joss M, Stucki L, Roth Z et al. (2020) Interactive figure on health effects of ambient air pollution. Project of the Swiss Literature Database and Services on Health Effects of Ambient Air Pollution (LUDOK) at the Swiss Tropical and Public Health Institute (Swiss TPH). Bundesamt für Umwelt, Kantonale Behörden für Luftreinhaltung, Krebsliga Schweiz, LUNGE ZÜRICH, LerNetz. <https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/healtheffects/>. Accessed 15.07.2021

Lai CKW, Beasley R, Crane J et al. (2009) Global variation in the prevalence and severity of asthma symptoms: Phase Three of the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Thorax 64:476-483 doi:10.1136/thx.2008.106609

Liu S, Jørgensen JT, Ljungman P et al. (2021a) Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of chronic obstructive pulmonary disease: The ELAPSE project Environment International 146:106267 doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106267

Liu S, Jørgensen JT, Ljungman P et al. (2021b) Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of asthma: the ELAPSE project European Respiratory Journal 57:2003099 doi:10.1183/13993003.030992020

Mehta S, Shin H, Burnett R et al. (2013) Ambient particulate air pollution and acute lower respiratory infections: a systematic review and implications for estimating the global burden of disease Air Qual Atmos Health 6:69-83 doi:10.1007/s11869-011-0146-3

Meteotest (2022) E-mail communication with the company Meteotest through Regina Ducret (Swiss TPH).

Müller K, Wickham H (2022) tibble: Simple Data Frames. <https://tibble.tidyverse.org>.

Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P et al. (2020) Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 *The Lancet* 396:1223-1249 doi:10.1016/S0140-6736(20)30752-2

NHS Digital (2019) Health Survey for England 2018: Asthma. Health and Social Care Information Centre (HS Digital),

Niu Z, Liu F, Yu H et al. (2021) Association between exposure to ambient air pollution and hospital admission, incidence, and mortality of stroke: an updated systematic review and meta-analysis of more than 23 million participants *Environ Health Prev Med* 26:15 doi:10.1186/s12199-021-00937-1

NKRS (2022) Krebsinzidenz 2015-2019. Nationale Krebsregisterstelle,

OBSAN (2023a) MonAM – Schweizer Monitoring-System Sucht und nichtübertragbare Krankheiten. Asthma (Alter: 14–15). <https://ind.obsan.admin.ch/indicator/monam/asthma-alter-14-15>.

OBSAN (2023b) MonAM – Schweizer Monitoring-System Sucht und nichtübertragbare Krankheiten. Atemwegserkrankungen (Alter: 15+). <https://ind.obsan.admin.ch/indicator/monam/atemwegserkrankungen-alter-15>.

Orellano P, Reynoso J, Quaranta N (2023) Effects of air pollution on restricted activity days: systematic review and meta-analysis *Environmental Health* 22:31 doi:10.1186/s12940-023-00979-8

Ostro BD (1987) Air pollution and morbidity revisited: A specification test *Journal of Environmental Economics and Management* 14:87-98 doi:[https://doi.org/10.1016/0095-0696\(87\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0095-0696(87)90008-8)

Ostro BD, Rothschild S (1989) Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants *Environmental Research* 50:238-247 doi:[https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(89\)80004-0](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(89)80004-0)

Park J, Kim H-J, Lee C-H et al. (2021) Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis *Environmental Research* 194:110703 doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110703>

Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C et al. (2013) Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE) *The Lancet Respiratory Medicine* 1:695-704 doi:[https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70192-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70192-9)

R Core Team (2020) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria

Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R et al. (2013) Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) *The Lancet Oncology* 14:813-822 doi:[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70279-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70279-1)

RStudio Team (2020) RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL

Ru M, Brauer M, Lamarque J-F et al. (2021) Exploration of the Global Burden of Dementia Attributable to PM2.5: What Do We Know Based on Current Evidence? *GeoHealth* 5:e2020GH000356-e002020GH000356 doi:10.1029/2020GH000356

Schindler C, Keidel D, Gerbase MW et al. (2009) Improvements in PM10 Exposure and Reduced Rates of Respiratory Symptoms in a Cohort of Swiss Adults (SAPALDIA) *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 179:579-587 doi:10.1164/rccm.200803-388OC

Soares J, González Ortiz A, Gsella A et al. (2022) Health Risk Assessment of Air Pollution and the Impact of the New WHO Guidelines vol ETC-HE Report 2022/10. European Topic Centre on Human Health and the Environment,

Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A et al. (2014) Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project *Environ Health Perspect* 122:919-925 doi:10.1289/ehp.1307301

US EPA (2016) Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen—Health Criteria. United States Environmental Protection Agency (US EPA), Washington, DC

US EPA (2019) Integrated Science Assessment for Particulate Matter. United States Environmental Protection Agency (US EPA),

Wei T, Jiao R, Nakyeyune R et al. (2021) Exposure to outdoor air pollution at different periods and the risk of leukemia: a meta-analysis *Environmental Science and Pollution Research* 28:35376-35391 doi:10.1007/s11356-021-14053-8

Weinmayr G, Romeo E, De Sario M et al. (2010) Short-term effects of PM10 and NO2 on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis *Environ Health Perspect* 118:449-457 doi:10.1289/ehp.0900844

WHO (2006) Air quality guidelines – global update 2005. World Health Organization (WHO),

WHO (2013) Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization (WHO). Regional Office for Europe.,

WHO (2021) WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide. . World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland

Wickham H (2022) stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations. <http://stringr.tidyverse.org>.

Wickham H, Averick M, Bryan J et al. (2019) Welcome to the Tidyverse *Journal of Open Source Software* 4:1686 doi:10.21105/joss.01686

Wickham H, Bryan J (2022) readxl: Read Excel Files. <https://readxl.tidyverse.org>.

Wickham H, François R, Henry L et al. (2022) dplyr: A Grammar of Data Manipulation. <https://dplyr.tidyverse.org>.

Wickham H, Girlich M (2022) tidyr: Tidy Messy Data. <https://tidyr.tidyverse.org>.

Wilker EH, Osman M, Weisskopf MG (2023) Ambient air pollution and clinical dementia: systematic review and meta-analysis *Bmj* 381:e071620 doi:10.1136/bmj-2022-071620

Wolf K, Hoffmann B, Andersen ZJ et al. (2021) Long-term exposure to low-level ambient air pollution and incidence of stroke and coronary heart disease: a pooled analysis of six European cohorts within the ELAPSE project *The Lancet Planetary Health* 5:e620-e632 doi:[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00195-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00195-9)

Woodruff TJ, Darrow LA, Parker JD (2008) Air Pollution and Postneonatal Infant Mortality in the United States, 1999–2002 *Environ Health Persp* 116:110-115 doi:doi:10.1289/ehp.10370

Woodruff TJ, Grillo J, Schoendorf KC (1997) The Relationship between Selected Causes of Postneonatal Infant Mortality and Particulate Air Pollution in the United States *Environ Health Persp* 105:608-612 doi:10.2307/3433606

Yang B-Y, Fan S, Thiering E et al. (2020) Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis *Environmental Research* 180:108817 doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108817>

Yu Z, Zhang X, Zhang J et al. (2022) Gestational exposure to ambient particulate matter and preterm birth: An updated systematic review and meta-analysis *Environmental Research* 212:113381 doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113381>

Zeileis A, Grothendieck G (2005) zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software* 14:1-27 doi:doi:10.18637/jss.v014.i06

# Appendix A: Methoden

## A.1.1 Evidenz aus der Literatur

Tabelle A 1: Evidenzbewertung für PM2.5-Endpunkte aus der Literatur inklusive Transformation in ein einheitliches Bewertungsschema

|   | Endpunkt  | Quelle                     | Evidenzbewertung gemäss Quelle   | Unsere Transformation der Evidenzbewertung |
|---|---|----------------------------|----------------------------------|--|
| PM2.5 langfristige Exposition               | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Ausreichend (A)                  | Ausreichend                                |
|   |   | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Ursächlich                       | Ausreichend                                |
|   | Säuglingssterblichkeit  | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend                                |
|   |   | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Ursächlich                       | Ausreichend                                |
|   | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen   | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 712 (5-149)          | Unzureichend                               |
|   |   | (HEI 2022) <sup>3</sup>    | Moderat-Extrem niedrig           | Ausreichend                                |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 712 (5-149)          | Ausreichend                                |
|   |   | (HEI 2022) <sup>3</sup>    | Hoch-Sehr niedrig                | Unzureichend                               |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 811 (5-248)          | Ausreichend                                |
|   |   | (HEI 2022) <sup>3</sup>    | Hoch-Extrem niedrig              | Unzureichend                               |
|   | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 755 (5-192)          | Ausreichend                                |
|   |   | (HEI 2022) <sup>3</sup>    | Hoch-Extrem niedrig              | Unzureichend                               |
|   | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen                             | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend                                |
|   |   | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 773 (5-210)          | Ausreichend <sup>4</sup>                   |
|   | Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen  | (US EPA 2019) <sup>2</sup> | Siehe Seite 1285 (7-33)          | Ausreichend                                |
|   |   | (COMEAP 2022) <sup>5</sup> | Keine Angabe                     | Ausreichend                                |
| Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen | (US EPA 2019) <sup>2</sup>  | Siehe Seite 1063 (6-158)   | Unzureichend                     |  |
|   | (HEI 2022) <sup>3</sup>   | Moderat-Niedrig            | Ausreichend                      |  |
| Inzidenz von ischämischen                   | (US EPA 2019) <sup>2</sup>  | Siehe Seite 1050 (6-145)   | Unzureichend                     |  |

<sup>1</sup> Evidenz aus dem WHO-Projekt HRAPIE. Erwachsene Sterblichkeit, Spitaleintritte, eingeschränkte Aktivität und Erwerbsausfall beziehen sich explizit auf PM2.5, die übrigen Endpunkte auf PM10.

<sup>2</sup> Evidenz aus dem «United States Environmental Protection Agency Integrated Science Assessment» (US EPA ISA) für Feinstaub (hier spezifisch für PM2.5). Die US EPA ISA macht eine Bewertung der Evidenz aber meistens für Krankheitsoberbegriffe. Für die meisten der in der Tabelle aufgeführten spezifische Endpunkte (ausser Sterblichkeit) macht die US EPA ISA keine explizite Bewertung der Evidenz, sondern eine narrative Beschreibung der Bewertung.

<sup>3</sup> Review mit Fokus auf Folgen verkehrsbedingter Luftbelastung des Health Effect Instituts (HEI) (HEI 2022). Das HEI Review zeigt zwei Bewertungen mit der folgenden Skala: Extrem niedrig, sehr niedrig, niedrig, moderat, stark. Die erste Bewertung bezieht sich auf die Assoziationsstärke von mehreren verkehrsassoziierten Luftschadstoffen (PM2.5, PM10, NO<sub>2</sub> und Elementarer Kohlstoff) und die zweite Bewertung den spezifischen Schadstoff. Wir betrachten die Evidenz als ausreichend, wenn sie in der Quelle mindestens als «moderat» bei dem ersten Wert und «niedrig» bei dem zweiten Wert (d.h. «moderat-niedrig») gemäss der Quelle bewertet wurde. Der zweite Wert hängt von der Anzahl Studien ab, die dadurch beeinflusst werden kann, dass das Review nur verkehrsbedingte Studien betrachte. Daraus ergibt sich unser niedrigeres Anforderungsniveau beim zweiten Wert (spezifisch für einen Schadstoff) als beim ersten Wert (allgemein für die vier Schadstoffe).

<sup>4</sup> Keine Unterscheidung von Erwachsenen und Kindern.

<sup>5</sup> Review mit Fokus auf Demenz und Luftverschmutzung vom Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP). narrative Beschreibung der Evidenz. Die Bewertung bezieht sich auf keinen spezifischen Luftschadstoff. Feinstaub war der am häufigsten untersuchte Schadstoff der betrachteten Studien.

|   |  |                                  |                                  |              |
|---|--|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
|   | Herzkrankheiten bei Erwachsenen                    | (HEI 2022) <sup>3</sup>          | Moderat-Moderat                  | Ausreichend  |
|   | Inzidenz von Frühgeburten                          | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Keine Angabe                     | Keine Angabe |
|   | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten          | (HEI 2022) <sup>3</sup>          | Niedrig-Niedrig                  | Unzureichend |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe Seite 1050 (6-145)         | Unzureichend |
|   | Inzidenz von Lungenkrebs                           | (HEI 2022) <sup>3</sup>          | Moderat-Moderat                  | Ausreichend  |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe Seite 1559 (10-54)         | Ausreichend  |
|   | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen        | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe Seite 1057 (6-152)         | Ausreichend  |
|   |  | (HEI 2022) <sup>3</sup>          | Moderat-Moderat                  | Ausreichend  |
| Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern | (WHO 2013) <sup>1</sup>                            | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend                      |              |
|   | (US EPA 2019) <sup>2</sup>                         | Siehe Seite 773 (5-210)          | Ausreichend <sup>4</sup>         |              |
| PM2.5 kurzfristige Exposition               | Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen            | (WHO 2013) <sup>1</sup>          | Keine Angabe                     | Keine Angabe |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe 975 (6-70)                 | Unzureichend |
|   | Tage mit Asthmaanfälle bei Kindern                 | (WHO 2013) <sup>1</sup>          | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend  |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe 975 (6-70)                 | Ausreichend  |
|   | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen         | (WHO 2013) <sup>1</sup>          | Ausreichend (A)                  | Ausreichend  |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe Seite 648 (5-85)           | Ausreichend  |
|   | Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen | (WHO 2013) <sup>1</sup>          | Ausreichend (A)                  | Ausreichend  |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Siehe Seite 712 (5-149)          | Ausreichend  |
|   | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen | (WHO 2013) <sup>1</sup>          | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend  |
|   |  | (US EPA 2019) <sup>2</sup>       | Keine Angabe                     | Keine Angabe |
| Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden     | (WHO 2013) <sup>1</sup>                            | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend                      |              |
|   | (US EPA 2019) <sup>2</sup>                         | Keine Angabe                     | Keine Angabe                     |              |

Tabelle A 2: Evidenz für NO<sub>2</sub> Endpunkte aus der Literaturrecherche nach Quelle.

|   | Endpunkt   | Quelle                     | Evidenzbewertung gemäss Quelle   | Unsere Transformation der Evidenzbewertung |
|---|--|----------------------------|----------------------------------|--|
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Ausreichend mit Ungewissheit (B) | Ausreichend <sup>2</sup>                   |
|   |  | (US EPA 2016) <sup>3</sup> | Siehe Seite 1285 (6-157)         | Unzureichend                               |
|   | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen              | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Keine Angabe                     | Keine Angabe                               |
|   |  | (US EPA 2016) <sup>3</sup> | Siehe Seite 838 (6-63)           | Unzureichend                               |
|   |  | (HEI 2022) <sup>4</sup>    | Hoch-Moderat                     | Ausreichend                                |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern                  | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Keine Angabe                     | Keine Angabe                               |
|   |  | (US EPA 2016) <sup>3</sup> | Siehe Seite 838 (6-63)           | Ausreichend                                |
| (HEI 2022) <sup>4</sup>                 |  | Moderat-Hoch               | Ausreichend                      |  |

<sup>1</sup> Evidenz aus dem WHO-Projekt HRAPIE.

<sup>2</sup> Weniger Evidenz für langfristige als für kurzfristige Exposition (als «Ausreichend» eingestuft). Wir priorisieren langfristige Exposition wegen der Verfügbarkeit von Effektschätzer aus Europa.

<sup>3</sup> Evidenz aus dem «United States Environmental Protection Agency Integrated Science Assessment» (US EPA ISA) für Stickoxide. Für die meisten der in der Tabelle aufgeführten Endpunkte macht die US EPA ISA keine explizite Bewertung der Evidenz, sondern eine narrative Beschreibung der Bewertung.

|   |   |                            |                        |                           |
|---|---|----------------------------|------------------------|---------------------------|
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Keine Angabe           | Keine Angabe              |
|   |   | (US EPA 2016) <sup>3</sup> | Siehe Seite 841 (6-66) | Unzureichend              |
|   |   | (HEI 2022) <sup>4</sup>    | Hoch-Moderat           | Ausreichend               |
|   | Inzidenz von Leukämie bei Kindern                                       | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Keine Angabe           | Keine Angabe              |
| (US EPA 2016) <sup>3</sup>              |   | Siehe Seite 949 (6-174)    | Unzureichend           |                           |
| NO <sub>2</sub> kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegerkrankungen                               | (WHO 2013) <sup>1</sup>    | Ausreichend (A)        | Ausreichend               |
|   |   | (US EPA 2016) <sup>3</sup> | Keine Angabe           | Keine Angabe <sup>5</sup> |

<sup>4</sup> Review mit Fokus auf Verkehrsbezogene Effekte aus dem Health Effect Institute (HEI). Die erste Bewertung bezieht sich auf die Stärke der Evidenz verkehrsbedingter Luftverschmutzung (NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, EC, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> zusammen) und die zweite Bewertung auf die Qualität der Evidenz spezifisch für NO<sub>2</sub>. Die erste HEI-Bewertung bezieht sich auf die Assoziationsstärke von mehreren verkehrsbezogenen Luftschadstoffen und die zweite Bewertung auf der Qualität der Evidenz des spezifischen Schadstoffes mit der folgenden Skala: Extrem niedrig, sehr niedrig, niedrig, moderat stark. Wir betrachten die Evidenz als ausreichend, wenn in der Quelle zumindest «moderat-niedrig» war.

<sup>5</sup> Die Quelle bezieht sich konkret auf Hospitalisierungen wegen Asthma anstatt allgemein wegen Atemwegerkrankungen.

## A.1.2 Effektschätzer aus der Literatur

Tabelle A 3: Verfügbare Effektschätzer für PM2.5 (alternativ für PM10). Der erste Effektschätzer von jedem Endpunkt (kursiv) wurde für die Berechnung priorisiert bzw. verwendet.

|                               | Endpunkt  | Effektschätzer   |   |   |
|-------------------------------|---|--|---|---|
|                               |   | Standardisiert pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5: Mittelwert [Konfidenzintervall] | Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall] | Quelle  |
| PM2.5 langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                        | <i>1.118 [1.060; 1.179]</i>  | <i>1.118 [1.06; 1.179] pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM2.5</i>                    | <i>Metaanalyse von 8 europäischen ELAPSE Kohortenstudien (Brunekreef et al. 2022)<sup>1</sup></i>   |
|                               |   | 1.062 [1.040; 1.083]   | 1.062 [1.04; 1.083] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                          | Metaanalyse von 13 weltweite Kohortenstudien (Hoek et al. 2013) <sup>2</sup>  |
|                               | Säuglingssterblichkeit  | <i>1.058 [0.972; 1.161]</i>  | <i>1.04 [0.98; 1.11] pro 7 µg/m<sup>3</sup> PM2.5</i>                       | <i>Studie basiert auf 3.5 Millionen Kindern in den USA (Woodruff et al. 2008)</i>   |
|                               |   | 1.055 [1.028; 1.097]   | 1.04 [1.02; 1.07] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                             | Studie basiert auf 4 Millionen Kindern in den USA (Woodruff et al. 1997) <sup>2</sup>   |
|                               |   | 1.018 [1.003; 1.034]   | 1.013 [1.002; 1.025] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                          | Metaanalyse von 9 Studien, 2 davon in Europa aber nicht langfristig, sondern nur kurzfristige Exposition (Kihal-Talantikite et al. 2020) <sup>3</sup> |
|                               | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | <i>1.120 [1.030; 1.300]</i>  | <i>1.12 [1.03; 1.3] pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM2.5</i>                       | <i>Bayesian Metaanalyse von 4 Studien, 2 davon in Europa (Mehta et al. 2013)<sup>4</sup></i>  |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                                     | <i>1.488 [1.082; 2.045]</i>  | <i>1.22 [1.04; 1.43] pro 5 µg/m<sup>3</sup> PM2.5</i>                       | <i>Gepoolte Analyse für langfristige Exposition aus sieben europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Liu et al. 2021b)<sup>5</sup></i>               |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | <i>1.562 [0.884; 2.756]</i>  | <i>1.25 [0.94; 1.66] pro 5 µg/m<sup>3</sup> PM2.5</i>                       | <i>Metaanalyse von 4 europäischen Kohorten (4 Länder) des Projekts ESCAPE (Gehring et al. 2015)<sup>6</sup></i>                                       |
|                               |   | 1.769 [0.810; 3.920]   | 1.33 [0.9; 1.98] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                              | Metaanalyse von 5 Studien, 2 davon in Europa (HEI 2022) <sup>7</sup>  |

<sup>1</sup> Sieben administrative Kohorten und ein gepoolte Kohortenstudien aus acht prospektiven Kohorten. Empfohlen bei der European Respiratory Society und International Society of Environmental Epidemiology.

<sup>2</sup> Diese Quelle wurde bei der Studie EEV-2010 (ARE 2014) verwendet, wie empfohlen bei dem WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

<sup>3</sup> Die europäischen Studien sind aus Belgien und Grossbritannien. Die übrigen Studien sind aus Taiwan (2), Korea (2) und Mexiko (2).

<sup>4</sup> Die zwei europäischen Studien sind aus den Niederlanden und Tschechien, die zwei nicht-europäische Studie aus USA.

<sup>5</sup> Die Kohorten sind aus Schweden (2), Dänemark (2), Deutschland (2) und die Niederlande.

<sup>6</sup> Die Kohorten sind aus Deutschland (2), der Niederlande und Schweden.

<sup>7</sup> Die zwei europäischen Studien sind aus den Niederlanden und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studien ist aus Kanada (2) und USA.

| Endpunkt  | Effektschätzer   |   |  |
|---|--|---|--|
|   | Standardisiert pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5: Mittelwert [Konfidenzintervall] | Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall] | Quelle   |
| Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 1.369 [1.124; 1.664]   | 1.17 [1.06; 1.29] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Gepoolte Analyse aus 3 europäische Kohorten des Projekts ELAPSE (Liu et al. 2021a) <sup>8</sup>  |
|   | 1.180 [1.130; 1.230]   | 1.18 [1.13; 1.23] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse von 5 Studien, 1 davon in Europa (Park et al. 2021) <sup>9</sup>   |
| Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen                             | 1.164 [1.055; 1.268]   | 1.117 [1.04; 1.189] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                           | Kombination der longitudinalen AHSMOG in USA und SAPALDIA Studien in der Schweiz (WHO 2013) <sup>2</sup>                               |
| Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen  | 2.594 [0.590; 11.506]  | 1.21 [0.9; 1.63] pro 2 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                              | Metaanalyse von 6 Studien aus Europa (Wilker et al. 2023) <sup>10</sup>  |
|   | 1.217 [0.951; 1.539]   | 1.04 [0.99; 1.09] pro 2 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 14 Studien, 6 davon aus Europa (Wilker et al. 2023) <sup>11</sup>  |
|   | 3.395 [1.629; 6.727]   | 1.13 [1.05; 1.21] pro 1 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 5 Studien aus Europa (Abolhasani et al. 2023)  |
|   | 1.344 [1.219; 1.629]   | 1.03 [1.02; 1.05] pro 1 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 12 Studien, 5 davon aus Europa (Abolhasani et al. 2023)  |
| Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | 1.102 [0.922; 1.322]   | 1.05 [0.96; 1.15] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 11 Studien, 3 davon aus Europa (Yang et al. 2020) <sup>12</sup>  |
|   | 1.100 [1.040; 1.170]   | 1.1 [1.04; 1.17] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 4 Studien, zwei davon aus Europa (HEI 2022) <sup>13</sup> . Nicht spezifisch für Diabetes Type 2 (Diabetes allgemein). |
| Inzidenz von Frühgeburten   | 1.029 [0.807; 1.251]   | 1.029 [0.807; 1.251] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                         | Metaanalyse von 3 europäischen Studien (Yu et al. 2022)  |
|   | 1.084 [1.055; 1.113]   | 1.084 [1.055; 1.113] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                         | Metaanalyse von 43 Studien, 3 davon aus Europa (Yu et al. 2022)  |
|   | 1.120 [1.060; 1.190]   | 1.12 [1.06; 1.19] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse von 40 Studien, 3 davon aus Europa (Ghosh et al. 2021) <sup>14</sup>   |
| Inzidenz von ischämischen   | 1.277 [0.960; 1.690]   | 1.13 [0.98; 1.3] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                              | Metaanalyse von 11 europäische Kohorten (fünf  |

<sup>8</sup> Die Kohorten sind aus Dänemark (2) und Schweden.

<sup>9</sup> Die europäischen Studien sind aus Grossbritannien. Die vier nicht-europäische Studie aus Canada (2), USA und Taiwan. Die Effektschätzer der Tabelle beziehen sich auf Hazard Raten. Odd Raten sind separat berechnet aber mit weniger Studien.

<sup>10</sup> Die sechs europäischen Studien sind aus Schweden (2), Grossbritannien (2), Frankreich und Italien.

<sup>11</sup> Fünf Studien aus USA, zwei aus Kanada, sechs aus Europa und eine Studie auch China.

<sup>12</sup> Die europäischen Studien sind aus Deutschland, Dänemark und Italien.

<sup>13</sup> Die zwei europäischen Studien sind aus Italien und Deutschland, die nicht-europäische Studien aus USA.

<sup>14</sup> Die drei europäischen Studien sind aus den Niederlanden, Italien und mehreren Standorten in Europa (Projekt ESCAPE). Der Effektschätzer von ESCAPE war niedriger als 1, daher nicht auf die Tabelle gezeigt. 21 Studien sind aus USA.

| Endpunkt   | Effektschätzer   |   |  |
|--|--|---|--|
|  | Standardisiert pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5: Mittelwert [Konfidenzintervall] | Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall] | Quelle   |
| Herzkrankheiten bei Erwachsenen                          |  |   | Länder) des Projekts ESCAPE (Cesaroni et al. 2014) <sup>15</sup>   |
|  | 1.188 [0.740; 1.932]   | 1.09 [0.86; 1.39] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 4 Studien, 3 davon in Europa (HEI 2022) <sup>16</sup>  |
|  | 1.080 [0.990; 1.180]   | 1.08 [0.99; 1.18] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse von 11 Studien, drei davon in Europa. Nicht ischämischer Herzkrankheit, sondern Herzinfarkt (Alexeeff et al. 2021) <sup>17</sup> |
| Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                 | 1.277 [1.102; 1.513]   | 1.13 [1.05; 1.23] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Gepoolte Analyse aus 7 europäische Kohorten des Projekts ELAPSE (Hvidtfeldt et al. 2021) <sup>18</sup>                                       |
|  | 1.392 [0.922; 2.132]   | 1.18 [0.96; 1.46] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 17 europäischen Kohorten (9 Länder) des Projekts ESCAPE (Raaschou-Nielsen et al. 2013) <sup>19</sup>                         |
|  | 1.090 [0.720; 1.460]   | 1.09 [0.72; 1.46] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse von 3 Studien aus Europa (Ciabattini et al. 2021) <sup>20</sup>  |
| Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten | 1.392 [1.124; 1.769]   | 1.18 [1.06; 1.33] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 14 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013) <sup>21</sup>                                |
|  | 1.232 [1.061; 1.440]   | 1.11 [1.03; 1.2] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                              | Metaanalyse von sieben Studien, drei davon in Europa (HEI 2022) <sup>22</sup>  |
|  | 1.110 [1.070; 1.160]   | 1.11 [1.07; 1.16] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse von 40 Studien, 4 davon aus Europa. Früh- und Termingeburten zusammen (Ghosh et al. 2021) <sup>23</sup>                          |
| Inzidenz von Schlaganfällen                              | 1.210 [1.020; 1.464]   | 1.1 [1.01; 1.21] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                              | Gepoolte Analyse aus 7 europäischen Kohorten des   |

<sup>15</sup> Die Kohorten sind aus Schweden (4), Italien (3), Deutschland (2), Dänemark und Finnland. Effektschätzer für PM<sub>10</sub> sind auch erhältlich.

<sup>16</sup> Die drei europäischen Studien sind aus Schweden (2) und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studie ist aus Kanada. Effektschätzer für PM<sub>10</sub> sind auch verfügbar.

<sup>17</sup> Die drei europäischen Studien sind aus Grossbritannien, Italien und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die acht nicht-europäische Studie sind aus USA (7) und Kanada.

<sup>18</sup> Die Kohorten sind aus Schweden (2), Dänemark (2), Deutschland (2) und die Niederlande.

<sup>19</sup> Die Kohorten sind aus Schweden (5), Italien (4), die Niederlande (2), Dänemark, Griechenland, Grossbritannien, Österreich, Norwegen und Spanien. Effektschätzer für PM<sub>10</sub> sind auch erhältlich.

<sup>20</sup> Die europäischen Studien sind aus Grossbritannien, die Niederlande und mehrere internationale Standorte internationale Städte (ESCAPE Studie). Der Effektschätzer aus dem Projekt ESCAPE war niedriger als 1 und daher nicht in dieser Tabelle eingefügt. Effektschätzer für PM<sub>10</sub> und globale Schätzer aus 15 Länder weltweit (sieben aus Nordamerika, fünf aus Asien und drei aus Europa) sind auch erhältlich.

<sup>21</sup> Die Kohorten sind aus den Niederlanden (3), Frankreich, Norwegen, Litauen, Dänemark, Grossbritannien, Deutschland, Ungarn, Griechenland, Schweden und Spanien.

<sup>22</sup> Die drei europäischen Studien sind aus Grossbritannien, Spanien und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die übrigen vier Studien sind aus USA (3) und Kanada.

<sup>23</sup> Die vier europäischen Studien sind aus Grossbritannien, Italien, Spanien und mehreren Standorten in Europa (Projekt ESCAPE). 24 Studien sind aus USA.

|                               | Endpunkt  | Effektschätzer   |   |  |
|-------------------------------|---|--|---|--|
|                               |   | Standardisiert pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5: Mittelwert [Konfidenzintervall] | Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall] | Quelle   |
|                               | bei Erwachsenen                                 |  |   | <i>Projekts ELAPSE (Wolf et al. 2021)</i> <sup>18</sup>  |
|                               |   | 1.416 [0.774; 2.624]   | 1.19 [0.88; 1.62] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 11 europäischen Kohorten (5 Länder) des Projekts ESCAPE (Stafoggia et al. 2014) <sup>15</sup>                                    |
|                               |   | 1.166 [0.792; 1.742]   | 1.08 [0.89; 1.32] pro 5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                             | Metaanalyse von 4 Studien, 3 davon in Europa (HEI 2022) <sup>24</sup>  |
|                               |   | 1.130 [1.110; 1.150]   | 1.13 [1.11; 1.15] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                            | Metaanalyse aus 14 Studien, 5 davon aus Europa (Alexeeff et al. 2021) <sup>25</sup>  |
|                               |   | 1.048 [1.020; 1.076]   | 1.048 [1.02; 1.076] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                          | Metaanalyse von 18 Studien, 5 davon in Europa (Niu et al. 2021) <sup>26</sup>  |
|                               | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern     | 1.111 [0.973; 1.270]   | 1.08 [0.98; 1.19] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                             | <i>Metaanalyse von 8 Studien (7 davon in Europa und 1 in der Schweiz). PATY Studie mit ca. 40'000 Kindern (Hoek et al. 2012)</i> <sup>2,27</sup> |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen      | 1.019 [0.998; 1.040]   | 1.019 [0.998; 1.04] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                          | <i>APED Metaanalyse von drei Einzelstädtestudien (WHO 2013)</i> <sup>2</sup>   |
|                               | Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen | 1.009 [1.001; 1.017]   | 1.009 [1.001; 1.017] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                         | <i>Bei EEV-2010 verwendet. APED Metaanalyse von vier Einzelstädtestudien und einer Multicenterstudie (WHO 2013)</i> <sup>2</sup>                 |
|                               | Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen         | 1.040 [1.018; 1.062]   | 1.029 [1.013; 1.045] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                          | <i>Metaanalyse von 6 europäischen Studien (ARE 2014)</i> <sup>28</sup>   |
|                               | Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern             | 1.039 [1.008; 1.071]   | 1.028 [1.006; 1.051] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                          | <i>Metaanalyse von 36 Panelstudien an asthmatischen Kindern aus 51 Populationen, 36 davon in Europa (Weinmayr et al. 2010)</i> <sup>2</sup>      |
|                               | Tage mit eingeschränkt                          | 1.049 [1.042; 1.053]   | 1.0493 [1.042; 1.053] pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                        | <i>Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrössen</i>  |

<sup>24</sup> Die drei europäischen Studien sind aus Schweden (2) und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studie sind aus Australien. Effektschätzer für PM<sub>10</sub> sind auch erhältlich.

<sup>25</sup> Die fünf europäischen Studien sind aus Grossbritannien (2), Italien, Schweden und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die acht nicht-europäische Studie ist aus USA (5), China (2), Australien und Kanada.

<sup>26</sup> Die drei europäischen Studien sind aus Spanien, Schweden, Grossbritannien, Deutschland und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studie sind aus China (5), USA (4), Kanada (2) und sechs Länder mit niedrigem oder mittlerem Einkommen weltweit. Effektschätzer für PM10 sind auch erhältlich.

<sup>27</sup> Die europäischen Studien sind aus der Schweiz, Deutschland, Italien, der Niederlande, Russland und mehrere Standorte in Europa. Die übrige Studie ist aus USA.

<sup>28</sup> Diese Quelle wurde bei der Studie EEV-2010 (ARE 2014) verwendet, ohne Empfehlung aus dem WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

|  | Endpunkt   | Effektschätzer  |   |  |
|--|--|---|---|--|
|  |  | Standardisiert pro<br>10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5:<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Original der Quelle<br>(vor<br>Standardisierung):<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Quelle   |
|  | er Aktivität bei<br>Erwachsenen                  |   |   | <i>(Jahre 1976-1981) aus USA<br/>(Ostro 1987)</i>  |
|  |  | 1.024 [1.005; 1.043]  | 1.0175 [1.004; 1.0311]<br>pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM10                                 | Metaanalyse von 7 Studien<br>(Orellano et al. 2023) <sup>29</sup>  |
|  |  | 1.047 [1.042; 1.053]  | 1.047 [1.042; 1.053]<br>pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                                  | Studie von 12'000<br>Erwachsenen aus 49 Städten<br>aus den USA (Ostro 1987) <sup>2</sup>   |
|  | Tage mit<br>Erwerbsausfall<br>bei<br>Arbeitenden | 1.070 [1.039; 1.053]  | 1.0699 [1.039; 1.053]<br>pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                                 | Metaanalyse einer<br>Querschnittstudie (Orellano et<br>al. 2023) mit 6 Effektgrößen<br>(Jahre 1976-1981) aus USA<br>(Ostro 1987) |
|  |  | 1.046 [1.039; 1.053]  | 1.046 [1.039; 1.053]<br>pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5                                  | Studie von 12'000<br>Erwachsenen aus 49 Städten<br>aus den USA (Ostro 1987) <sup>2</sup>   |

<sup>29</sup> Die europäischen Studien sind aus der Norwegen, Italien, der Niederlande, Russland und mehrere Standorte in Europa. Die übrige Studie ist aus China (2), USA (2), Korea. Die Metaanalyse für eingeschränkte Aktivität inkludierte Studien für Schulausfall, Erwerbsausfall oder beide. Darüber hinaus zeigte die Metaanalyse keinen Effektschätzer für Feinstaub und Erwerbsausfall gezeigt. Daher wurde die Metaanalyse nicht ausgewählt.

Tabelle A 4: Verfügbare Effektschätzer für NO<sub>2</sub>. Der erste Effektschätzer von jedem Endpunkt (kursiv) wurde für die Berechnung priorisiert bzw. verwendet.

|   | Endpunkt  | Effektschätzer   |   |   |
|---|---|--|---|---|
|   |   | Standardisiert pro 10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5: Mittelwert [Konfidenzintervall] | Wie in der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall] | Quelle  |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                        | <i>1.045 [1.026; 1.065]</i>  | <i>1.045 [1.026; 1.065] pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>        | <i>Metaanalyse von 8 europäischen ELAPSE Kohortenstudien (Brunekreef et al. 2022)<sup>1</sup></i>                 |
|   |   | 1.055 [1.031; 1.080]   | 1.055 [1.031; 1.080] pro 10 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>             | Metaanalyse von 13 weltweite Kohortenstudien (Hoek et al. 2013) <sup>2</sup>                                      |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | <i>1.090 [1.030; 1.160]</i>  | <i>1.09 [1.03; 1.16] pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>           | <i>Metaanalyse von 11 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)<sup>3</sup></i>                                       |
|   | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                                     | <i>1.100 [0.990; 1.210]</i>  | <i>1.10 [0.99; 1.21] pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>           | <i>Metaanalyse von 6 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013)<sup>4</sup></i> |
|   |   | 1.100 [1.010; 1.210]   | 1.10 [1.01; 1.21] pro 10 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>                | Metaanalyse von 7 Studien, 5 davon in Europa (HEI 2022) <sup>5</sup>  |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | <i>1.050 [0.990; 1.120]</i>  | <i>1.05 [0.99; 1.12] pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>           | <i>Metaanalyse von 12 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)<sup>6</sup></i>                                       |
|   |   | 1.130 [1.051; 1.184]   | 1.05 [1.02; 1.07] pro 4 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>                 | Metaanalyse von 20 Studien, 9 davon in Europa (Khreis et al. 2017) <sup>7</sup>                                   |
|   | Inzidenz von Leukämie bei Kindern                                       | <i>1.190 [1.070; 1.320]</i>  | <i>1.19 [1.07; 1.32] pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>           | <i>Metaanalyse von 11 Studien, sieben davon in</i>  |

<sup>1</sup> Sieben administrative Kohorten und eine gepoolte Kohortenstudie aus acht prospektiven Kohorten. Empfohlen bei der European Respiratory Society und International Society of Environmental Epidemiology.

<sup>2</sup> Wie empfohlen bei dem WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

<sup>3</sup> Die acht europäischen Studien sind aus Deutschland (2), der Niederlande, Spanien, Frankreich, Italien, Norwegen und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in der Tabelle eingefügt. Die übrige vier Studien sind aus USA, Kanada und China.

<sup>4</sup> Die Kohorten sind aus Frankreich (2), Deutschland, Schweden, Schweiz und aus mehreren europäischen Standorten (ECRHS-Studie).

<sup>5</sup> Die acht europäischen Studien sind aus Schweden, Dänemark und zwei aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE und ECRHS-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in der Tabelle eingefügt. Die übrige zwei Studien sind aus Kanada und Australien.

<sup>6</sup> Die acht europäischen Studien sind aus Deutschland (2), der Niederlande, Spanien, Frankreich, Italien, Norwegen und aus mehreren europäischen Standorten (ESCAPE-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in der Tabelle eingefügt. Die übrige vier Studien sind aus USA, Kanada und China.

<sup>7</sup> Die acht europäischen Studien sind aus Deutschland, Grossbritannien, Norwegen, Italien und fünf aus mehreren europäischen Standorten. Die übrige zwei Studien sind aus Kanada (4), USA (3), China (2), Korea und Japan.

|  | Endpunkt  | Effektschätzer  |  |   |
|--|---|---|--|---|
|  |   | Standardisiert pro<br>10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5:<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Wie in der Quelle<br>(vor<br>Standarisierung):<br>Mittelwert<br>[Konfidenzintervall] | Quelle  |
|  |   |   |  | <i>Europa (Wei et al. 2021)<sup>8</sup></i>   |
| NO <sub>2</sub> kurzfristige<br>Exposition | Spitaleintritte<br>wegen<br>Atemwegerkrankun<br>gen | <i>1.018 [1.012; 1.025]</i>   | <i>1.018 [1.012; 1.025]<br/>pro 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub></i>               | <i>Metaanalyse von 15<br/>Studien, 10 davon aus<br/>Europa (WHO 2013)<sup>9</sup></i> |

<sup>8</sup> Die sieben europäischen Studien sind aus Dänemark (3), Frankreich (2), Schweden und Italien. Die übrige vier Studien sind aus USA (2), Kanada und China.

<sup>9</sup> Die zehn europäischen Studien sind aus Italien (8), Norwegen und Grossbritannien. Die übrige fünf Studien sind aus Süd-Korea (3), China, USA.

### A.1.3 Verfügbare Gesundheitsdaten

Tabelle A 5: Verfügbare Gesundheitsdaten für die vorausgewählte Endpunkte. Die ersten Daten von jedem Endpunkt (kursiv) wurden für die Berechnung priorisiert bzw. verwendet.

|                      | Endpunkt  | Gesundheitsdaten                 |   |   |
|----------------------|---|----------------------------------|---|---|
|                      |   | Jährliche Erkrankungsfälle       | Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) <sup>1</sup>  | Quelle  |
| Langfristige Effekte | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | <i>Nach Alter und Geschlecht</i> | <i>Nach Alter und Geschlecht</i>  | <i>Sterbewahrscheinlichkeit: 5-Jahre Durchschnitt (2015-2015). Nicht natürliche Sterblichkeit: 10-Jahre Durchschnitt (2010-2019). Bevölkerung: Durchschnitt Ende 2018 und 2019. Alle Daten nach Alter (20+ für Erwachsene und 0 für Säuglingen) und Geschlecht aus dem Bundesamt für Statistik (BFS 2021; BFS 2022e; BFS 2022f)<sup>2</sup></i> |
|                      | Säuglingssterblichkeit  | <i>Nach Alter und Geschlecht</i> | <i>Nach Alter und Geschlecht</i>  |   |
|                      | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | 9'413                            | 109.38  | <i>Fälle 2019 im Alter 5-19: 9'413. Definiert als «Infektion der unteren Atemwege». Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)</i>  |
|                      | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen   | 19'604                           | 227.79  | <i>Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)</i>  |
|                      | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | 10'580                           | 122.94  | <i>Fälle 2019 im Alter 5-19. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)</i>   |
|                      | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen                             | 27'546                           | 320.08  | <i>SAPALDIA Studie (Schindler et al. 2009)<sup>2,3</sup>: Inzidenz 3.9 per 1,000 Erwachsenen Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.63 (BFS 2022f). Annahme: Die Inzidenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: 3.9*100*70.63</i>  |
|                      | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 30'747                           | 357.27  | <i>Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)</i>  |
| 91'832               |   | 1'067.07                         | <i>Anteil der Erwachsenen, die jährlich erkrankt (Jahr nicht spezifiziert): 1.3%. Schätzung der Schweizerische Ärztezeitung (Brändli and Russi 2008) basiert auf Daten aus SAPALDIA Studie.</i> |   |

<sup>1</sup> Erkrankungsrate berechnet als Anzahl Fälle dividiert durch der Bevölkerung 2019 in der Schweiz (86.06 in 100'000) (BFS 2022f)

<sup>2</sup> Diese Quelle wurde bei der Studie EEV-2010 (ARE 2014) verwendet, wie empfohlen bei dem WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013)

<sup>3</sup> Die SAPALDIA Studie rekrutierte 7'000 Teilnehmende in der Schweiz und sammelte Daten von denen aus dem Jahr 2002 (Schindler et al. 2009).

| Endpunkt  | Gesundheitsdaten           |  |  |
|---|----------------------------|--|--|
|   | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) <sup>1</sup> | Quelle   |
|   |                            |  | Bevölkerung bei Erwachsenen 2019 (in 100'000): 70.64 (BFS 2022f)<br>Bevölkerung 2019 (in 100'000): 86.06 (BFS 2022f)<br>Berechnung: $0.013 \cdot 70.64 \cdot 100'000$  |
| Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen                    | 18'361                     | 213.35   | Fälle 2019 im Alter 55+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020). Bezeichnet als «Alzheimer und andere Demenzen».   |
|   | 32'200                     | 374.16   | Jährliche Fälle (Schätzung): 32'200. Schätzung auf die BAG-Webseite (BAG 2022) und Alzheimer Schweiz Factsheet (Alzheimer Schweiz 2022). Die Berechnungsmethode ist unbekannt. Spezifische Daten für das Jahr 2019 und für Senioren/innen nicht verfügbar. |
| Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen               | 28'542                     | 331.65   | Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020).   |
| Inzidenz von Frühgeburten                                 | 5'774                      | 67.09  | Neugeborene 2019: 86'172 (BFS 2022b)<br>Anteil Frühgeburten (36 Wochen oder weniger): 6.7% (BFS 2022b)<br>Berechnung: $86'172 \cdot 0.067$   |
|   | 6'605                      | 76.75  | Fälle 2019. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)   |
| Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen | 29'730                     | 345.46   | Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)  |
|   | 18'912                     | 219.75   | Fälle 2020 (BFS 2022c). Definiert als nur «akuter Myokardinfarkt». Berechnung: $12'413(\text{Männer}) + 6'499(\text{Frauen})$  |
| Inzidenz von Leukämie bei Kindern                         | 71                         | 0.83   | Jährliche Krebsfälle in Kinder (0-14 Jahre, Durchschnitt 2015-2019): 230 (BFS 2022d)<br>Anteil der Leukämie in Bezug auf die Gesamtfälle (0-14 Jahre, Durchschnitt 1990-2019): 31% (BFS 2022d)<br>Berechnung: $0.31 \cdot 230$                             |
|   | 80                         | 0.92   | Fälle 2019 für das Alter 0-14 Jahre. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)  |
| Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                  | 4'795                      | 55.7   | Fälle (alle Alter) pro Jahr (Durchschnitt 2015-2019). Daten aus der Nationale Krebsregistrierungsstelle (NKRS 2022). Spezifische Daten für das Jahr 2019 und für Erwachsene sind nicht verfügbar.  |

|                      | Endpunkt   | Gesundheitsdaten           |  |  |
|----------------------|--|----------------------------|--|--|
|                      |  | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) <sup>1</sup> | Quelle   |
|                      |  | 4'368                      | 50.76  | Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)  |
|                      | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten | 2'154                      | 25.03  | Neugeborene 2019: 86'172 (BFS 2022b)<br>Anteil mit niedrigem Geburtsgewicht: 9.4% (BFS 2022b)<br>Anteil Frühgeburten (36 Wochen oder weniger): 6.7% (BFS 2022b)<br>Annahme: Alle Frühgeburten haben niedriges Gewicht<br>Berechnung: $86'172 \cdot (0.094 - 0.069)$  |
|                      | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen              | 21'041                     | 244.49   | Fälle (alle Alter) 2020 (BFS 2022c).<br>Berechnung: 11'359 (Männer) + 9'682 (Frauen)   |
|                      |  | 9'665                      | 112.31   | Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)  |
|                      | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern              | 204'724                    | 2'378.85   | Durchschnittliche Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern in Westeuropa: 18.6%<br>PATY Studie (Hoek et al. 2012) <sup>2,4</sup><br>Bevölkerung im Alter 6-18 2019 (in 100'000): 1'100'668 (BFS 2022f).<br>Annahme: Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant.<br>Berechnung: $0.186 \cdot 1'100'668$             |
| Kurzfristige Effekte | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen               | 90'363                     | 1'050.00   | Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 (BFS 2022a) <sup>2</sup> : 1'050<br>Bevölkerung 2019 (in 100'000): 86.06 (BFS 2022f)<br>Berechnung: $1'050 \cdot 86.06$  |
|                      | Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen          | 159'211                    | 1'850.00   | Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019: 1'850 (BFS 2022a) <sup>2</sup><br>Bevölkerung 2019 (in 100'000): 86.06 (BFS 2022f)<br>Berechnung: $1'850 \cdot 86.06$   |
|                      | Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen                  | 1'211'305                  | 14'075.12  | Prävalenz von Asthma in Westeuropa: 4.9%<br>Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.63 (BFS 2022f)<br>Asthmaanfällen pro Jahr und asthmatische Person: 3.5<br>SAPALDIA (Schindler et al. 2009) <sup>2</sup> und ECRHS (ECRHS 1996) Studien mit Schätzungen aus anderer Studie (Künzli et al. 1999) <sup>5</sup> |

<sup>4</sup> Die PATY Studie rekrutierte in der 1990er etwa 45'800 Kinder in 12 Länder (2 in Nordamerika und 10 in Europa, zirka 2'700 aus der Schweiz) (Hoek et al. 2012). Durchschnittliche Prävalenz der PATY Studie: 18.6%.

<sup>5</sup> Abschätzung (Künzli et al. 1999) basiert sich auf nicht-veröffentlichte Rohdaten von der SAPALDIA (Schindler et al. 2009) und ECRHS (ECRHS 1996) Studien, die eine weltweit Befragung mit 48 Standorte, inclusive Schweiz (Basel).

| Endpunkt                            | Gesundheitsdaten           |  |   |
|-------------------------------------|----------------------------|--|---|
|                                     | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) <sup>1</sup> | Quelle  |
| Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern |                            |  | <p><i>Annahme: Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant.</i><br/> <i>Berechnung: <math>0.049 \cdot 70.63 \cdot 100'000 \cdot 3.5</math></i></p>  |
|                                     | 678'048                    | 7'878.78   | <p>Anteil der Bevölkerung im Alter 15+ mit Asthma: 4.8%. Gesundheitsbefragung der OBSAN 2017 (OBSAN 2023b):<br/> Anfälle (Median) pro Jahr und asthmatische Person: 2. UK Asthma Survey 2018 (NHS Digital 2019)<br/> Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.63 (BFS 2022f)<br/> Annahmen: Der Anteil mit Asthma ist gleich für die Altersgruppe 15+ und 18+. Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant.<br/> Berechnung: <math>4.8 \cdot 1'000 \cdot 70.63 \cdot 2</math></p>   |
|                                     | 3'356'657                  | 39'003.68  | <p><i>Prävalenz von Asthma in Westerneuropa: 4.9% HRAPIE-Abschätzung (WHO 2013) basiert auf ISAAC-Studie (Lai et al. 2009)<sup>2</sup>.</i><br/> <i>Tägliche Inzidenz von Symptomen in dieser Altersgruppe: 17%. HRAPIE-Abschätzung (WHO 2013) basiert auf (Weinmayr et al. 2010)<sup>2,6</sup></i><br/> <i>Bevölkerung im Alter 5-17 2019 (in 100'000): 11.04 (BFS 2022f)</i><br/> <i>Bevölkerung 2019 (in 100'000): 86.06 (BFS 2022f)</i><br/> <i>Berechnung: <math>0.049 \cdot 11.04 \cdot 100'000 \cdot 0.17 \cdot 365</math></i></p> |
|                                     | 229'632                    | 2'668.28   | <p>Anteil der Bevölkerung im Alter 14-15 mit Asthma diagnostiziert: 10.4%. Gesundheitsbefragung der OBSAN 2018 (OBSAN 2023a).<br/> Anfälle (Median) pro Jahr und asthmatische Person: 2. UK Asthma Survey 2018 (NHS Digital 2019)<br/> Bevölkerung im Alter 5-17 2019 (in 100'000): 11.04 (BFS 2022f)<br/> Annahmen: Der Anteil mit Asthma ist gleich für die Altersgruppe 14-15 und 5-17. Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant.<br/> Berechnung: <math>10.4 \cdot 1'000 \cdot 11.04 \cdot 2 / 86.06</math></p>                    |

Die Abschätzung nimmt 3 bis 4 Asthmaanfälle pro asthmatische Person (Künzli et al. 1999) als berichtet bei einem französische Asthmapanel (Segala C, 1999)

<sup>6</sup> Abschätzung (WHO 2013) basiert sich auf die ISAAC Studie, die rekrutierte zwischen 2000 und 2003 mehr als eine Million Kinder weltweit (ohne Schweiz) und schätzt die Prävalenz von Asthma in Kinder als 4.9% in Westerneuropa (Durschnitt 6-7 in der Altersgruppe 13-14 Jahre) ab (Lai et al. 2009). Eine tägliche Inzidenz von Symptomen in dieser Gruppe von 17% wurde extrapoliert von einer Metaanalyse von 36 Panelstudien (Weinmayr et al., 2010).

| Endpunkt   | Gesundheitsdaten           |  |  |
|--|----------------------------|--|--|
|  | Jährliche Erkrankungsfälle | Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) <sup>1</sup> | Quelle   |
| Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen | 134'209'768                | 1'559'490.68   | <i>Tage pro erwachsene Person: 19 (Ostro and Rothschild 1989)<sup>2</sup>: Studie mit 12'000 Erwachsenen in USA. Anzahl Erwachsenen 2019: 7'063'672<br/>Annahme: Die Anzahl pro Person bleibt im Zeitablauf konstant.<br/>Berechnung: 19*7'063'672</i>           |
| Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden            | 33'881'630                 | 384'756.19   | <i>Tage pro Arbeitenden: 7.2 (Ostro and Rothschild 1989)<sup>2</sup>: Studie mit 12'000 Erwachsenen in USA. Anzahl Erwerbstätigen 2019: 4'705'782 (BFS 2023)<br/>Annahme: Die Anzahl pro Person bleibt im Zeitablauf konstant.<br/>Berechnung: 7.2*4'705'782</i> |

## A.1.4 Bewertungskriterien für die Auswahl

Tabelle A 6 Bewertung der Evidenz, Effektschätzer und Gesundheitsdaten von Endpunkten für PM2.5.

|                               | Endpunkt  | Evidenz <sup>1</sup>  | Effektschätzer <sup>2</sup>                                  | Gesundheitsdaten                             |
|-------------------------------|---|---|--|--|
| PM2.5 langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                                | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|                               | Säuglingssterblichkeit  | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen (anstatt Anfälle von Asthma)                | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI                     | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|                               | Inzidenz von Asthma bei Kindern (anstatt Anfälle von Asthma)                    | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|                               | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen                             | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|                               | Inzidenz von chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|                               | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern         | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen  | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                       | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen                                     | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|                               | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                     | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |

<sup>1</sup> Unzureichend = Unzureichend oder keine Angabe.

<sup>2</sup> Wenn mehr als einem Effektschätzer für eine Kategorie vorhanden sind, werden die Effektschätzer anhand der folgenden zusätzlichen Kriterien ausgewählt: Anzahl Studien/Kohorten, Anteil der Studie aus Europa und Publikationsjahr.

|                               |  |   |  |  |
|-------------------------------|--|---|--|--|
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)   |
|                               | Inzidenz von Frühgeburten                                | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI                     | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)   |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen                   | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)   |
|                               | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern              | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung nicht spezifisch für die Schweiz |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen               | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)   |
|                               | Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislaufferkrankungen      | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)   |
|                               | Tage von Asthmaanfällen bei Erwachsenen                  | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI                     | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung nicht spezifisch für die Schweiz |
|                               | Tage von Asthmaanfällen bei Kindern                      | Ausreichend bei beiden HRAPIE und US EPA ISA  | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung nicht spezifisch für die Schweiz |
|                               | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen       | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit Minderheit oder ohne europäische Studien     | Schätzung nicht spezifisch für die Schweiz |
|                               | Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden                  | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit Minderheit oder ohne europäische Studien     | Schätzung nicht spezifisch für die Schweiz |

Tabelle A 7: Bewertung der Evidenz, Effektschätzer und Gesundheitsdaten von Endpunkten für NO<sub>2</sub>.

|   | Endpunkt  | Evidenz <sup>1</sup>  | Effektschätzer <sup>2</sup>                                  | Gesundheitsdaten                             |
|---|---|---|--|--|
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen                        | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | ELAPSE oder ESCAPE Studie (aus europäischen Kohorten)        | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|   | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen                                     | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichend bei HEI | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern   | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Schätzung für die Schweiz aus der GBD Studie |
|   | Inzidenz von Leukämie bei Kindern                                       | Unzureichend (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI                     | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |
| NO <sub>2</sub> kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegerkrankungen                               | Ausreichend bei HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)                                 | Metaanalyse mit mindestens der Hälfte der Studien aus Europa | Daten aus Schweizer Statistik (z.B. BFS)     |

<sup>1</sup> Unzureichend = Unzureichend oder keine Angabe.

<sup>2</sup> Wenn mehr als einem Effektschätzer für eine Kategorie vorhanden sind, werden die Effektschätzer anhand der folgenden zusätzlichen Kriterien ausgewählt: Anzahl Studien/Kohorten, Anteil der Studie aus Europa und Publikationsjahr.

# Appendix B: Ergebnisse

## B.1 Ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

### B.1.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer

Tabelle A 8: PM2.5-Gesundheitsnutzen für die ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und ausgewählten Effektschätzer.

|                               | Gesundheitsendpunkt   | Gesundheitsdaten (Fälle)  | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                    |   |   |
|-------------------------------|---|---------------------------|---|---|---|---|
|                               |   |                           |   | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
| PM2.5 langfristige Exposition | Todesfälle bei Erwachsenen  | Nach Alter und Geschlecht | 1.118 [1.060; 1.179]                    | 3368 [1783; 4908]   | 2245 [1183; 3284]   | 2610 [1378; 3815]   |
|                               | Todesfälle bei Säuglingen   | Nach Alter und Geschlecht | 1.058 [0.972; 1.161]                    | 8 [-4; 22]  | 6 [-3; 15]  | 6 [-4; 17]  |
|                               | Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen   | Nach Alter und Geschlecht | 1.118 [1.060; 1.179]                    | 35800 [18951; 52162]  | 23851 [12570; 34907]  | 27742 [14641; 40542]  |
|                               | Verlorene Lebensjahre bei Säuglingen  | Nach Alter und Geschlecht | 1.058 [0.972; 1.161]                    | 685 [-360; 1782]  | 454 [-237; 1190]  | 530 [-277; 1384]  |
|                               | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern       | 9413                      | 1.120 [1.030; 1.300]                    | 519 [138; 1157]   | 346 [91; 781]   | 402 [107; 904]  |
|                               | Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 30747                     | 1.369 [1.124; 1.664]                    | 4468 [1740; 6912]   | 3027 [1160; 4757]   | 3501 [1349; 5474]   |

|                               | Gesundheitsendpunkt                                       | Gesundheitsdaten (Fälle) | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                    |   |   |
|-------------------------------|---|--------------------------|---|---|---|---|
|                               |   |                          |   | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren                          | 18361                    | 2.594 [0.590; 11.506]                   | 6960 [-5533; 12948]   | 4955 [-3486; 10162]   | 5640 [-4128; 11192]   |
|                               | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen               | 28542                    | 1.102 [0.922; 1.322]                    | 1359 [-1189; 3723]  | 904 [-779; 2515]  | 1052 [-911; 2912]   |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen | 29730                    | 1.277 [0.960; 1.690]                    | 3420 [-607; 6861]   | 2304 [-399; 4727]   | 2670 [-466; 5438]   |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                  | 4800                     | 1.277 [1.102; 1.513]                    | 552 [229; 898]  | 372 [152; 613]  | 431 [177; 707]  |
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten  | 2154                     | 1.392 [1.124; 1.769]                    | 329 [122; 534]  | 223 [81; 370]   | 258 [95; 425]   |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen               | 21041                    | 1.210 [1.020; 1.464]                    | 1913 [208; 3652]  | 1283 [138; 2487]  | 1489 [161; 2872]  |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen                | 90038                    | 1.019 [0.998; 1.040]                    | 843 [-90; 1748]   | 558 [-60; 1158]   | 650 [-69; 1349]   |
|                               | Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen        | 158638                   | 1.009 [1.001; 1.017]                    | 709 [79; 1331]  | 468 [52; 880]   | 546 [61; 1026]  |
|                               | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen        | 133740696                | 1.049 [1.029; 1.070]                    | 3179613 [1885241; 4460767]  | 2107118 [1247260; 2961053]  | 2455062 [1454003; 3448149]  |
|                               | Tage mit Erwerbsausfall bei Erwerbstätigen                | 28872569                 | 1.070 [0.997; 1.148]                    | 959099 [-41957; 1926491]  | 636634 [-27684; 1286354]  | 741366 [-32301; 1495104]  |

Tabelle A 9: NO<sub>2</sub>-Gesundheitsnutzen für die ausgewählte Schadstoff-Effektschätzer Paare, ausgewählte Gesundheitsdaten und ausgewählte Effektschätzer.

|   | Gesundheitsendpunkt                 | Gesundheitsdaten (Fälle) | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | NO <sub>2</sub> -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) im Vergleich zum...   |  |  |
|---|-------------------------------------|--------------------------|---|--|--|--|
|   |                                     |                          |   | Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) | Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz | Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (16.32 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen | 19604                    | 1.100 [0.990; 1.210]                    | 3402 [-398; 6214]  | (nicht vorhanden)  | 1146 [-125; 2225]  |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern     | 10580                    | 1.050 [0.990; 1.120]                    | 984 [-215; 2146]   | (nicht vorhanden)  | 321 [-67; 731]   |

## B.1.2 Alternative Effektschätzer

Tabelle A 10: PM2.5-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

|                               | Gesundheitsendpunkt   | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer       | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                    |   |   |
|-------------------------------|---|---|---------------------------------|---|---|---|
|                               |   |   |                                 | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
| PM2.5 langfristige Exposition | Todesfälle bei Erwachsenen  | 1.062 [1.040; 1.083]                    | Hoek et al. (2013)              | 1840 [1206; 2427]   | 1220 [799; 1613]  | 1422 [931; 1878]  |
|                               | Todesfälle bei Säuglingen   | 1.055 [1.028; 1.097]                    | Woodruff et al. (1997)          | 8 [4; 13]   | 5 [2; 9]  | 6 [3; 11]   |
|                               | Todesfälle bei Säuglingen   | 1.018 [1.003; 1.034]                    | Kihal-Talantikite et al. (2020) | 2 [0; 5]  | 2 [0; 4]  | 2 [0; 4]  |
|                               | Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen   | 1.062 [1.040; 1.083]                    | Hoek et al. (2013)              | 19554 [12816; 25794]  | 12972 [8487; 17139]   | 15109 [9891; 19952]   |
|                               | Verlorene Lebensjahre bei Säuglingen  | 1.055 [1.028; 1.097]                    | Woodruff et al. (1997)          | 658 [335; 1125]   | 437 [221; 748]  | 509 [258; 871]  |
|                               | Verlorene Lebensjahre bei Säuglingen  | 1.018 [1.003; 1.034]                    | Kihal-Talantikite et al. (2020) | 219 [34; 417]   | 145 [23; 276]   | 168 [26; 321]   |
|                               | Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 1.180 [1.130; 1.230]                    | Park et al. (2021)              | 2442 [1823; 3023]   | 1634 [1215; 2030]   | 1898 [1413; 2355]   |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren  | 1.217 [0.951; 1.539]                    | Wilker et al. (2023)            | 1715 [-467; 3559]   | 1151 [-307; 2434]   | 1335 [-359; 2807]   |
|                               | Inzidenz von Demenz bei Senioren  | 1.344 [1.219; 1.629]                    | Abolhasani et al. (2023)        | 2523 [1731; 3975]   | 1706 [1162; 2731]   | 1975 [1348; 3144]   |
|                               | Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen                                   | 1.100 [1.040; 1.170]                    | HEI (2022)                      | 1328 [554; 2155]  | 884 [367; 1441]   | 1028 [428; 1674]  |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                     | 1.188 [0.740; 1.932]                    | HEI (2022)                      | 2455 [-4840; 8342]  | 1644 [-3112; 5808]  | 1909 [-3661; 6659]  |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                     | 1.080 [0.990; 1.180]                    | Alexeeff et al. (2021)          | 1122 [-150; 2361]   | 746 [-99; 1580]   | 868 [-115; 1835]  |

|                               | Gesundheitsendpunkt                                      | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer      | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                    |   |   |
|-------------------------------|--|---|--------------------------------|---|---|---|
|                               |  |   |                                | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                 | 1.392 [0.922; 2.132]                    | Raaschou-Nielsen et al. (2013) | 732 [-200; 1512]  | 497 [-131; 1061]  | 574 [-153; 1213]  |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                 | 1.090 [0.720; 1.460]                    | Ciabattini et al. (2021)       | 202 [-857; 827]   | 135 [-550; 564]   | 157 [-647; 651]   |
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten | 1.232 [1.061; 1.440]                    | HEI (2022)                     | 213 [63; 359]   | 143 [42; 244]   | 166 [48; 282]   |
|                               | Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten | 1.110 [1.070; 1.160]                    | Ghosh et al. (2021)            | 110 [72; 154]   | 73 [48; 103]  | 85 [55; 120]  |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen              | 1.416 [0.774; 2.624]                    | Stafoggia et al. (2014)        | 3359 [-2869; 8053]  | 2282 [-1852; 5738]  | 2638 [-2176; 6529]  |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen              | 1.166 [0.792; 1.742]                    | HEI (2022)                     | 1559 [-2601; 5101]  | 1042 [-1682; 3523]  | 1211 [-1975; 4050]  |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen              | 1.130 [1.110; 1.150]                    | Alexeeff et al. (2021)         | 1247 [1070; 1420]   | 832 [712; 948]  | 967 [829; 1102]   |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen              | 1.048 [1.020; 1.076]                    | Niu et al. (2021)              | 488 [207; 757]  | 323 [137; 503]  | 376 [160; 585]  |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen       | 1.024 [1.005; 1.043]                    | Orellano et al. (2023)         | 1582834 [365890; 2781569]   | 1046783 [241600; 1842387]   | 1220449 [281824; 2146975]   |
|                               | Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen       | 1.047 [1.042; 1.053]                    | Ostro (1987)                   | 3036287 [2723072; 3409196]  | 2011763 [1803506; 2259933]  | 2344102 [2101716; 2632858]  |
|                               | Tage mit Erwerbsausfall bei Erwerbstätigen               | 1.046 [1.039; 1.053]                    | Ostro (1987)                   | 642003 [547064; 735993]   | 425340 [362236; 487885]   | 581602 [495405; 667004]   |

Tabelle A 11: NO<sub>2</sub>-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

|   | Gesundheitsendpunkt                 | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer | NO <sub>2</sub> -Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) im Vergleich zum...   |   |   |
|---|-------------------------------------|---|---------------------------|---|---|---|
|   |                                     |   |                           | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (16.32 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen | 1.100 [1.010; 1.210]                    | HEI (2022)                | 3402 [386; 6214]  | (nicht vorhanden)   | 1146 [123; 2225]  |
|   | Inzidenz von Asthma bei Kindern     | 1.130 [1.051; 1.184]                    | Khreis et al. (2017)      | 2290 [997; 3037]  | (nicht vorhanden)   | 785 [326; 1073]   |

### B.1.3 Alternative Gesundheitsdaten

Tabelle A 12: PM2.5-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer-Paare, nicht ausgewählten Gesundheitsdaten und ausgewählten Effektschätzer.

|                               | Gesundheitsendpunkt   | Gesundheitsdaten (Fälle) | Quelle der Gesundheitsdaten | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                    |   |   |
|-------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|---|---|---|
|                               |   |                          |                             | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
| PM2.5 langfristige Exposition | Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen | 91507                    | Brändli and Russi (2008)    | 13296 [5180; 20571]   | 9007 [3452; 14156]  | 10420 [4015; 16293]   |
|                               | Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen                     | 18912                    | BFS (2022)                  | 2176 [-386; 4364]   | 1466 [-254; 3007]   | 1699 [-296; 3459]   |
|                               | Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen                                      | 4368                     | IHME (2020)                 | 503 [208; 817]  | 339 [138; 558]  | 392 [161; 644]  |
|                               | Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen                                   | 9665                     | IHME (2020)                 | 879 [96; 1677]  | 589 [63; 1143]  | 684 [74; 1319]  |

## B.2 Nicht-ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

### B.2.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer

Tabelle A 13: PM2.5-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und ausgewählten Effektschätzer.

|                               | Gesundheitsendpunkt                                 | Gesundheitsdaten (Fälle) | Quelle der Gesundheitsdaten | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                 |   |   |
|-------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|--|---|---|
|                               |   |                          |                             |   |                           | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
| PM2.5 langfristige Exposition | Inzidenz von Asthma bei Kindern                     | 10580                    | IHME (2020)                 | 1.562 [0.884; 2.756]                    | Gehring et al. (2015)     | 2116 [-675; 4207]  | 1449 [-441; 3008]   | 1670 [-516; 3419]   |
|                               | Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen | 27452                    | Schindler et al. (2009)     | 1.164 [1.055; 1.268]                    | WHO (2013)                | 2007 [729; 3075]   | 1342 [483; 2070]  | 1559 [563; 2400]  |
|                               | Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern         | 204277                   | Hoek et al. (2012)          | 1.111 [0.973; 1.270]                    | Hoek et al. (2012)        | 10509 [-2852; 22987]   | 6998 [-1878; 15477]   | 8141 [-2192; 17940]   |
| PM2.5 kurzfristige Exposition | Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern                 | 3341455                  | WHO (2013)                  | 1.039 [1.008; 1.071]                    | Weinmayr et al. (2010)    | 62728 [13689; 112139]  | 41534 [9041; 74441]   | 48406 [10546; 86685]  |

Tabelle A 14: NO<sub>2</sub>-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und ausgewählten Effektschätzer.

|   | Gesundheitsendpunkt   | Gesundheitsdaten (Fälle) | Quelle der Gesundheitsdaten | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer | NO <sub>2</sub> -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) im Vergleich zum...   |  |  |
|---|---|--------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|--|--|--|
|   |   |                          |                             |   |                           | Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) | Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz | Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (16.32 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Todesfälle bei Erwachsenen  |                          |                             | 1.045 [1.026; 1.065]                    | ERS-ISEE (2022)           | 5121 [3068; 7122]  | (nicht vorhanden)  | 1667 [987; 2348]   |
|   | Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen                                   |                          |                             | 1.045 [1.026; 1.065]                    | ERS-ISEE (2022)           | 54406 [32604; 75682]   | (nicht vorhanden)  | 17713 [10485; 24954]   |
|   | Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern | 9413                     | IHME (2020)                 | 1.090 [1.030; 1.160]                    | HEI (2022)                | 1490 [540; 2418]   | (nicht vorhanden)  | 499 [174; 843]   |
| NO <sub>2</sub> kurzfristige Exposition | Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen                              | 90038                    | BFS (2022)                  | 1.018 [1.012; 1.025]                    | WHO (2013)                | 3156 [2123; 4339]  | (nicht vorhanden)  | 1009 [676; 1394]   |

## B.2.2 Alternative Effektschätzer

Tabelle A 15: PM<sub>2.5</sub>-Gesundheitsnutzen für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

|   | Gesundheitsendpunkt             | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer | PM <sub>2.5</sub> -Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2.5</sub> ) im Vergleich zum...                    |  |  |
|---|---------------------------------|---|---------------------------|---|--|--|
|   |                                 |   |                           | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2.5</sub> ) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2.5</sub> ) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2.5</sub> ) |
| PM <sub>2.5</sub> langfristige Exposition | Inzidenz von Asthma bei Kindern | 1.769 [0.810; 3.920]                    | HEI (2022)                | 2625 [-1176; 5237]  | 1815 [-762; 3840]  | 2086 [-894; 4328]  |

Tabelle A 16: NO<sub>2</sub>-Gesundheitsnutzen für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

|   | Gesundheitsendpunkt                   | Effektschätzer pro 10 µg/m <sup>3</sup> | Quelle der Effektschätzer | NO <sub>2</sub> -Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) im Vergleich zum...   |   |   |
|---|---------------------------------------|---|---------------------------|---|---|---|
|   |                                       |   |                           | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (16.32 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> ) |
| NO <sub>2</sub> langfristige Exposition | Todesfälle bei Erwachsenen            | 1.055 [1.031; 1.080]                    | Hoek et al. (2013)        | 6140 [3622; 8524]   | (nicht vorhanden)   | 2012 [1169; 2836]   |
|   | Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen | 1.055 [1.031; 1.080]                    | Hoek et al. (2013)        | 65249 [38501; 90600]  | (nicht vorhanden)   | 21379 [12422; 30150]  |

## B.2.3 Alternative Gesundheitsdaten

Tabelle A 17: PM2.5-Gesundheitsnutzen für die nicht ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer Paare, nicht ausgewählten Gesundheitsdaten und ausgewählten Effektschätzer.

|                               | Gesundheitsendpunkt                 | Gesundheitsdaten (Fälle) | Quelle der Gesundheitsdaten | PM2.5-Gesundheitsnutzen<br>der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) im Vergleich zum...                                 |   |   |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|---|---|
|                               |                                     |                          |                             | Szenario 1:<br>Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 2:<br>Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) | Szenario 3:<br>Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m <sup>3</sup> PM2.5) |
| PM2.5 langfristige Exposition | Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern | 228592                   | OBSAN (2023)                | 4291 [937; 7672]   | 2841 [619; 5093]  | 33111; 5930]  |