



Im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt

Vertragsnummer: 00.5082.PZ / D1127658F

Quantifizierung des Gesundheitsnutzens der neuen Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation in der Schweiz

Projekt GeLuft

Projektbericht

November 2023

Alberto Castro, Meltem Kutlar Joss, Martin Rösli

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

Kontakt:

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

Autor/Autorin: Alberto Castro, Meltem Kutlar Joss, Martin Rösli

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 dem Unternehmen Meteotest für die Bereitstellung von Luftbelastungsdaten für die Schweiz. Zudem danken wir Nicolas Loizeau (Swiss TPH) für die Unterstützung bei der französischen Übersetzung der Zusammenfassung und Axel Luyten (Swiss TPH) für eine umfangreiche abschliessende Überprüfung des Berichts.

Vorgeschlagene Zitierung

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

ABKÜRZUNGEN

ALRI	Acute Lower Respiratory Infections (Akute Infektion der unteren Atemwege)
AQG	Air Quality Guidelines (Luftqualitätsleitlinien)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease (Chronisch obstruktive Lungenerkrankung)
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EEV	Externe Kosten des Verkehrs
ESCAPE	European Study of Cohorts for Air Pollution Effects
ELAPSE	Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe
ETC-HE	European Topic Centre - Human Health and the Environment
BFS	Bundesamt für Statistik
GBD	Global Burden of Disease
ISA	Integrated Science Assessments
LUDOK	Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
NO₂	Stickstoffdioxid
PM_{2.5}	Feinstaub
Swiss TPH	Swiss Tropical and Public Health Institute
US EPA	United States Environmental Protection Agency
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WHO-AQG-2021	Air Quality Guidelines der Weltgesundheitsorganisation des Jahres 2021

INHALTVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	5
RÉSUMÉ	6
1. AUSGANGLAGE	7
2. ZIEL	9
3. METHODEN	9
3.1 Szenarien	9
3.2 Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen	10
3.3 Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare	11
3.3.1 Vorauswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare	11
3.3.2 Finale Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare	15
3.4 Inputdaten	18
3.4.1 Luftbelastung	18
3.4.2 Effektschätzer	18
3.4.3 Gesundheitsdaten	20
3.5 Software	22
4. ERGEBNISSE	22
5. DISKUSSION	24
6. SCHLUSSFOLGERUNG	25
7. LITERATURVERZEICHNIS	27
Appendix A: Methoden	33
A.1.1 Evidenz aus der Literatur	33
A.1.2 Effektschätzer aus der Literatur	36
A.1.3 Verfügbare Gesundheitsdaten	42
A.1.4 Bewertungskriterien für die Auswahl	46
Appendix B: Ergebnisse	49
B.1 Ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare	49
B.1.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer	49
B.1.2 Alternative Effektschätzer	52
B.1.3 Alternative Gesundheitsdaten	55
B.2 Nicht-ausgewählte Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare	56
B.2.1 Ausgewählte Gesundheitsdaten und Effektschätzer	56
B.2.2 Alternative Effektschätzer	58
B.2.3 Alternative Gesundheitsdaten	59

ZUSAMMENFASSUNG

Die derzeit gültigen 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 (PM_{2.5}) und NO₂ 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_{2.5} und NO₂ in einem Referenzszenario, nämlich Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m³ PM_{2.5}, 10 µg/m³ NO₂) in der Schweiz, gegenüber den Gesundheitsauswirkungen von drei Vergleichsszenarien:

- Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den aktuellen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m³ PM_{2.5}, 30 µg/m³ NO₂). Es gibt aber noch Gebiete, in denen die Immissionsgrenzwerte überschritten sind.
- Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz. Die zugehörige mittlere Luftbelastung (8.3 µg/m³ PM_{2.5}, für NO₂ nicht vorhanden) liegt dabei tiefer als bei Szenario 1.
- Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m³ PM_{2.5}, 16.32 µg/m³ NO₂).

Die Gesundheitsendpunkte für die Belastung mit PM_{2.5} und NO₂ wurden auf der Grundlage einer Evidenzbewertung ausgewählt. Effektschätzer für die verschiedenen Auswirkungen wurden aus der Literatur hergeleitet. Gesundheitsdaten wurden von Schweizerischen Routinestatistiken bezogen, von Schätzungen des Global Burden of Disease Projektes oder von bevölkerungsbezogenen Studien abgeschätzt. Wir bewerteten die Sterblichkeit (als Todesfälle und als verlorene Lebensjahre separat für Erwachsene und Säuglinge) und zusätzlich 14 Krankheitsbilder bzw. -auswirkungen welche durch PM_{2.5} und NO₂ verursacht werden: Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern, chronisch obstruktive 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-/Kreislaufkrankungen, Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen und Tage mit Erwerbsausfall bei Erwerbstätigen.

Die Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts für PM_{2.5} (5 µg/m³) würde im Jahr 2019 im Vergleich zum Szenario 1 (mittlere Luftbelastung in der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV; 10 µg/m³) ca. 3'370 luftverschmutzungsbedingte Todesfälle (35'800 verlorene Lebensjahre) bei Erwachsenen vermeiden. Im Vergleich zum Szenario 2 (Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz; 8.3 µg/m³) und zum Szenario 3 (tatsächlich aufgetretenen bevölkerungsgewichteten Exposition für die Schweiz im Jahr 2019; 8.85 µg/m³) würden ca. 2'250 Todesfälle (ca. 23'850 verlorene Lebensjahre) bzw. 2'610 Todesfälle (ca. 27'740 verlorene Lebensjahre) vermieden. Demenz, COPD und ischämische Herzkrankheiten sind die drei häufigsten Krankheiten, die durch eine Verringerung der PM_{2.5}-Belastung vermieden werden könnten (zwischen ca. 2'000 und 7'000 Fälle je nach Krankheit und Szenario). Die Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts für NO₂ (10 µg/m³) würde im Jahr 2019 im Vergleich zum Szenario 1 (30 µg/m³) ca. 3'400 Fälle von Asthma bei Erwachsenen vermeiden bzw. ca. 1'150 im Vergleich zum Szenario 3 (16.32 µg/m³).

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

RÉSUMÉ

Les valeurs limites d'immission actuellement en vigueur de l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) correspondent en grande partie aux valeurs indicatives des lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) relatives à la qualité de l'air (WHO-AQG en anglais, "World Health Organization Air Quality Guidelines") de 2005. En 2021, les valeurs WHO-AQG (WHO-AQG-2021) ont été adaptées sur la base de nouvelles preuves issues de la littérature scientifique et ont été renforcées pour les particules fines (PM_{2,5}) et le NO₂. L'objectif de la présente étude est de calculer les bénéfices pour la santé (y compris la mortalité et la morbidité) du respect des valeurs indicatives redéfinies par l'OMS (2021) en Suisse.

Pour quantifier les bénéfices pour la santé en 2019, nous avons calculé les effets sur la santé de la pollution de l'air par les PM_{2,5} et le NO₂ dans un scénario de référence, c'est-à-dire respect des valeurs WHO-AQG-2021 (5 µg/m³ PM_{2,5}, 10 µg/m³ NO₂) en Suisse par rapport aux effets sur la santé de trois scénarios de comparaison :

- Scénario 1 : L'exposition moyenne à la pollution de l'air dans la population correspond aux valeurs limites actuellement en vigueur de l'OPair (10 µg/m³ PM_{2,5} ; 30 µg/m³ NO₂). Il existe cependant encore des zones où les valeurs limites d'immissions sont dépassées.
- Scénario 2 : Le respect des valeurs limites d'immission actuellement en vigueur de l'OPair partout en Suisse. L'exposition moyenne à la pollution de l'air correspondante (8,3 µg/m³ PM_{2,5} ; non disponible pour NO₂) est inférieure à celle du scénario 1.
- Scénario 3 : L'exposition pondérée par la population réellement survenue pour la Suisse en 2019 (8,85 µg/m³ PM_{2,5} ; 16,32 µg/m³ NO₂).

Les critères d'évaluation de la santé pour l'exposition aux PM_{2,5} et NO₂ ont été sélectionnés sur la base d'une évaluation des preuves. Des estimations d'effets pour les différents impacts ont été déduites de la littérature. Les données sanitaires ont été obtenues à partir de statistiques suisses de routine, d'estimations du projet «Global Burden of Disease» ou d'études basées sur la population. Nous avons évalué la mortalité (en termes de décès et d'années de vie perdues, séparément pour les adultes et les nourrissons) et 14 pathologies ou effets des pathologies supplémentaires qui sont dus aux PM_{2,5} et NO₂ : l'incidence des infections aiguës des voies respiratoires inférieures (IVRI) chez les enfants, les bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO) chez les adultes, la démence chez les seniors, le diabète de type 2 chez les adultes, cardiopathies ischémiques chez l'adulte, cancer du poumon chez l'adulte, faible poids de naissance à terme, accidents vasculaires cérébraux chez l'adulte, asthme chez l'adulte et l'enfant, ainsi que les hospitalisations pour maladies respiratoires et cardiovasculaires, les jours d'activité réduite chez l'adulte, les jours d'arrêt de travail chez les travailleurs,.

Le respect de la valeur WHO-AQG-2021 pour les PM_{2,5} (5 µg/m³) par rapport au scénario 1 (l'exposition moyenne à la pollution de l'air dans la population correspond à la valeur limite de l'OPair ; 10 µg/m³) permettrait d'éviter environ 3'370 décès liés à la pollution de l'air (35'800 années de vie perdues) chez les adultes. Par rapport au scénario 2 (respect de la valeur limite de l'OPair ; 8,3 µg/m³) et au scénario 3 (exposition pondérée par la population réellement survenue pour la Suisse en 2019 ; 8,85 µg/m³) permettrait d'éviter env. 2'250 décès (env. 23'850 années de vie perdues) et env. 2'610 décès (env. 27'740 années de vie perdues). La démence, la BPCO et les cardiopathies ischémiques sont les trois maladies comptant le plus grand nombre de cas qui pourraient être évitées en réduisant l'exposition aux PM_{2,5} (entre env. 2'000 et 7'000 cas en fonction de la maladie et du scénario). Le respect de la valeur WHO-AQG-2021 pour le NO₂ (10 µg/m³) permettrait d'éviter en 2019 env. 3'400 cas d'asthme chez les adultes par rapport au scénario 1 (30 µg/m³) ou env. 1'100 par rapport au scénario 3 (16,32 µg/m³).

Les bénéfices pour la santé sont considérables si l'on parvient à réduire l'exposition dans la population en Suisse au niveau des valeurs WHO-AQG-2021.

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 abgekürzt). 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 die 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_{2.5}) und Stickstoffdioxid (NO₂) verursacht wurde (Castro et al. 2023).

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 derzeit gültigen Grenzwerte der LRV orientieren sich an den Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO-AQG, «World Health Organization Air Quality Guidelines» auf Englisch) 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 zum Schutz der Gesundheit überein. Die Übernahme der neuen WHO-AQG vom Jahr 2021 (WHO-AQG-2021) in die LRV 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 Schweizer Luftreinhalte-Verordnung (LVR; SR 814.318.142.1, Stand am 1. Januar 2023).

Schadstoff	Mittelungszeit	WHO-AQG-2005	WHO-AQG-2021	LRV derzeit
PM2.5, µg/m³	Jahr	10	5	10
	24 Stunden ¹	25	15	
PM10, µg/m³	Jahr	20	15	20
	24 Stunden ¹	50	45	50
Ozon, µg/m³	Sommersaison ²		60	
	8 Stunden ¹	100	100	
	1 Stunde			120 ³
	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats			100
NO₂, µg/m³	Jahr	40	10	30
	24 Stunden		25 ¹	80 ³
	1 Stunde	200 ¹		
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres		-	100
SO₂, µg/m³	Jahr	20 ⁴	-	30 ⁵
	24 Stunden	20	40 ¹	100 ³
	95 % der ½-h- Mittelwerte eines Jahres		-	100
CO, mg/m³	24 Stunden		4 ¹	8 ³

Abkürzungen: WHO-AQG = Air Quality Guidelines der Weltgesundheitsorganisation. LRV = Luftreinhalte-Verordnung

¹ 99. Perzentil (d.h. 3 Überschreitungen pro Jahr sind zulässig)

² 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.

³ Darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.

⁴ 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).

⁵ 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) zu berechnen, wenn die PM2.5- und NO₂-Luftbelastung in der Schweiz die Empfehlungen der WHO (WHO-AQG-2021-Werte) überall einhalten würde.

3. METHODEN

3.1 Szenarien

Zur Quantifizierung des Gesundheitsnutzens wurde eine vergleichende Gesundheitsrisikobewertung angewendet («comparative health risk assessment» auf Englisch), basierend auf der Berechnung der attributablen Fälle. Dabei wird ein Referenzszenario mit drei Vergleichsszenarien verglichen. Die Gesundheitsauswirkungen des Vergleichsszenarios minus die des Referenzszenarios ergeben den Gesundheitsnutzen (Formel 1). Die Quantifizierung wird für das Jahr 2019 durchgeführt.

Formel 1: Berechnung des Gesundheitsnutzens.

$$N = A_{VERG} - A_{REF}$$

N= Gesundheitsnutzen.

A_{VERG} = Gesundheitsauswirkungen des Vergleichsszenarios.

A_{REF} = Gesundheitsauswirkungen des Referenzszenarios.

Als Referenzszenario verwendeten wir die Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte in der Schweiz. Es wird davon ausgegangen, dass die Werte in der ganzen Schweiz eingehalten werden und niemand über diesen Werten belastet ist. Unterhalb der WHO-AQG-2021-Werte wird ein Null-Effekt angenommen, da nachteilige Gesundheitseffekte unterhalb dieser Werte nicht als gesichert gelten (WHO 2021). Die WHO-AQG-2021-Werte (Jahresmittelwerte) für PM2.5 (5 µg/m³) und für NO₂ (10 µg/m³) verwendeten wir als Referenzkonzentration (WHO 2021).

Die Vergleichsszenarien wurden wie folgt definiert:

- Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV. Es wird damit angenommen, dass die Belastung im Durchschnitt die Grenzwerte einhält und bedeutet nicht, dass die Grenzwerte überall eingehalten werden. Für das Szenario 1 verwendeten wir die Jahresmittelwerte der Immissionsgrenzwerte der LRV vom 16. Dezember 1985 (SR 814.318.142.1, Stand am 1. Januar 2023) für PM2.5 (10 µg/m³) und NO₂ (30 µg/m³).
- Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz. Die LRV-Vorgaben für die PM2.5- und NO₂-Grenzwerte werden nicht nur im Mittelwert an allen Standorten eingehalten, sondern auch an hochbelasteten Standorten. Die bevölkerungsgewichtete Konzentration ist daher tiefer als die LRV-Grenzwerte. Bei einer bevölkerungsgewichteten Konzentration von 8.3 µg/m³ PM2.5 wird der PM2.5-Grenzwert an 99% aller bewohnten Standorte in der Schweiz eingehalten (EKL 2020). Eine solche Berechnung ist für NO₂ derzeit nicht vorhanden. Die Abschätzung der NO₂-Konzentration dieses Szenarios würde spezifische Modellrechnungen benötigen und wird in dieser Studie nicht berechnet.

- Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019. Für das Szenario 3 verwendeten wir bevölkerungsgewichteten Immissionsdaten für das Jahr 2019 aus dem Modell PolluMap der Firma Meteotest für die Schweiz (Künzle 2021), mit einer Auflösung von 100 m x 100 m: 8.85 µg/m³ PM_{2.5} und 16.32 µg/m³ NO₂.

3.2 Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen

Um die Gesundheitsauswirkungen zu quantifizieren, werden Gesundheitsfolgenabschätzungen für Sterblichkeit und Morbidität (d.h. Krankheitsfälle bzw. -folgen) durchgeführt. Dafür braucht es neben Belastungsdaten aus der Schweiz Sterblichkeit und Morbiditätsdaten für die ausgewählten Krankheiten für die Schweiz sowie die entsprechenden Belastungs-Wirkungsbeziehungen aus der internationalen epidemiologischen Literatur.

Formel 2 und Formel 3 zeigen, wie die Gesundheitsauswirkungen berechnet wurden und wie die Effektschätzer für verschiedene Konzentrationen berechnet wurden. Als Referenzwerte (d.h. Konzentrationen, unterhalb derer Effekte nicht quantifiziert werden) wurden die WHO-AQG-2021-Werte für PM_{2.5} und NO₂ ausgewählt. Diese stellen die niedrigsten Konzentrationen dar, bei denen Gesundheitseffekte mit Sicherheit nachgewiesen wurden (WHO 2021). Diese Auswahl führte implizit zu der Annahme, dass die Belastung im Referenzszenario (WHO-AQG-2021-Werte) keine Gesundheitseffekte verursacht (A_{REF} in Formel 1 wird Null).

Formel 2: 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_B = Effektschätzer für die relevante Expositionsdifferenz B (spezifisch für jedes Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paar).

Formel 3: Log-lineare Skalierung der Effektschätzer für die relevante Konzentration (Soares et al. 2022).

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

EE_B = Effektschätzer für die relevante Expositionsdifferenz.
 EE_A = Effektschätzer aus der in der Literatur für eine standardisierte Differenz in der Luftbelastung (z.B. pro 10 oder 5 µg/m³).
 C_B = relevante Konzentrationsdifferenz B.
 C₀ = Referenzwertkonzentration («Counterfactual» auf Englisch).
 C_A = standardisierte Konzentrationsdifferenz A (z.B. Effektschätzer-Inkrement pro 10 oder 5 µg/m³ wie in der Literatur).

Gemäss Szenario 1 ist die ganze Bevölkerung im Mittel den Immissionsgrenzwerten der LRV ausgesetzt. Da eine solche Gleichverteilung der Schadstoffe nicht realistisch ist, wird implizit angenommen, dass an einigen Orten die Grenzwerte überschritten und an anderen Orten unterschritten werden. Diese Effekte kompensieren sich aber, da die Expositionswirkungsbeziehung im relevanten Konzentrationsbereich quasi-linear ist. Bei den WHO-AQG-

2021-Werten ist das anders. Die WHO-AQG-2021-Werte stellen eine Referenzwertkonzentration dar, unterhalb derer bisher keine Gesundheitseffekte nachgewiesen mit Sicherheit nachgewiesen wurden. Daher können Expositionen unterhalb der WHO-AQG-2021-Werte nicht diejenigen oberhalb der WHO-AQG-2021-Werte kompensieren (Abbildung 1). Um die Gesundheitseffekte oberhalb der WHO-AQG-2021-Werte zu kompensieren, müsste man annehmen, dass eine quasi-lineare Expositions-Wirkungsbeziehung bis zu $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ besteht (d.h. dass es keinen Referenzwert gibt).

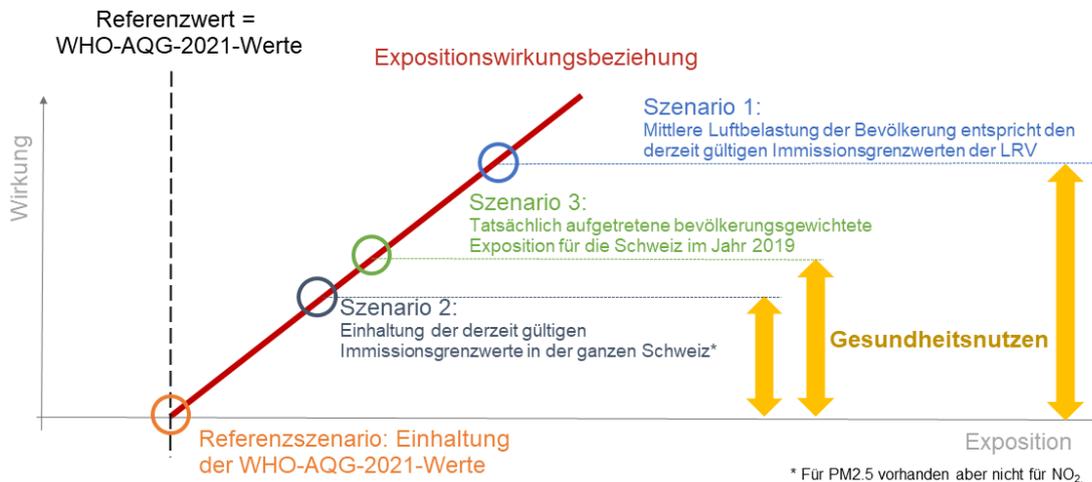


Abbildung 1 Szenarien in einer Expositions-Wirkungsbeziehung mit Referenzwert.

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 Diskontierung verwendet.

Zusätzlich 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 stimmen (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 der Gesamtbevölkerung (anstatt auf spezifische Altersgruppen) angewendet werden.

3.3 Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

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

1. Screening der Literatur zur Vorauswahl von möglichen Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paaren
2. Finale Auswahl basierend auf Evidenzbewertung und Datenverfügbarkeit

3.3.1 Vorauswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

Die Vorauswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare wurde auf Basis folgender Literaturquellen getroffen:

- a) Das WHO-Projekt HRAPIE («Health risks of air pollution in Europe») (WHO 2013), das seit 2013 als Goldstandard für die Auswahl von gesundheitlichen Endpunkten und

Effektschätzern für Gesundheitsfolgenabschätzungen in Europa gilt. Die Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare die bei HRAPIE vorgeschlagen wurden, wurden in unserer Studie vorausgewählt.

- b) Die «Global Burden of Disease» (GBD) Studie 2019 (Murray et al. 2020), eine massgebliche Studie zur globalen Gesundheitsrisikobewertung; inklusive explorativ untersuchten Gesundheitsendpunkten (Ghosh et al. 2021; Ru et al. 2021). Die Liste der vorausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare wurde um diejenigen erweitert, die in der GBD-Studie ausgewählt wurden.
- c) Die integrierten Wissenschaftsbewertungen der US Umweltbehörde zur Evidenzbeurteilung von Gesundheitsfolgen durch Luftschadstoffbelastung «United States Environmental Protection Agency Integrated Science Assessments» (US EPA ISAs) für Feinstaub (US EPA 2019) und NO₂ (US EPA 2016). Diese umfassenden Kausalitätsbewertungen beurteilen die Ursächlichkeit zwischen einer Luftbelastung und einem gesundheitlichen Endpunkt. Die Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit (LUDOK) fasste die Schlussfolgerungen der US EPA ISAs zusammen (Kutlar Joss et al. 2020). Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, die bei LUDOK gelistet wurden, aber noch nicht bei HRAPIE oder GBD, wurden aufgenommen.
- d) Ein Übersichtsbericht der EEA bzw. des European Topic Centre on Human Health and the Environment zu den luftverschmutzungsbedingten Gesundheitseffekte für Kinder (Castro et al. 2022a). Relevante Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare mit Evidenz aus diesem Literaturreview wurden ebenfalls vorausgewählt.

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die 27 vorausgewählten Gesundheitsendpunkte für PM_{2.5} bzw. NO₂, die wir für die GeLuft-Studie in Erwägung gezogen haben und die Gründe dafür. Die EEV-2010-Studie umfasste zehn Gesundheitsendpunkte für PM_{2.5} und PM₁₀ und keinen Gesundheitsendpunkt für NO₂. Alle EEV-2010-Gesundheitsendpunkte wurden bei der GeLuft-Studie vorausgewählt. Zusätzlich wurden in der GeLuft-Studie 17 neue Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare betrachtet, davon 11 für PM_{2.5} und 6 für NO₂.

Bei den vorausgewählten Gesundheitsendpunkten 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 chronisch obstruktive Lungenerkrankungen («COPD» auf Englisch abgekürzt) ein klinischer Oberbegriff für chronische Bronchitis ist, und akute Infektionen der unteren Atemwege («ALRI» auf Englisch) ein Oberbegriff für akute Bronchitis sind.

Epidemiologische Studien zu Feinstaub verwenden PM_{2.5} 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, PM_{2.5} gegenüber PM₁₀ priorisiert, da derzeit die Studienbasis für PM_{2.5} umfassender als für PM₁₀ ist, und da Metaanalysen in der Regel robustere Effektschätzer für PM_{2.5} zeigen. In der Schweiz sind Belastungsdaten und Grenzwerte für beide Feinstaubgrössen (PM_{2.5} und PM₁₀) vorhanden.

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

Grund für die Vorauswahl	Schadstoff und Exposition	Gesundheitsendpunkt
Wie bei EEV-2010 ¹ (ARE 2014) basierend auf HRAPIE (WHO 2013)	PM2.5 langfristig ²	Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen
		Säuglingssterblichkeit
		Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen
		Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern
	PM2.5 kurzfristig ²	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
Umfassendere 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) ³
		Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen bei Erwachsenen (COPD) ⁴
		Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen
		Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen
		Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen
		Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen
Bei GBD evaluiert (Ghosh et al. 2021; Ru et al. 2021)	PM2.5 langfristig	Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen
		Inzidenz von Frühgeburten
		Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten

¹ Mit der Ausnahme von Asthmaanfällen bei Erwachsenen. In diesem Fall hat die Studie EEV-2010 ohne explizite Empfehlung von HRAPIE dazu genommen.

² Die Effektschätzer von Sterblichkeit, Spitaleintritten, eingeschränkter Aktivität und Erwerbsausfall beziehen sich bei HRAPIE auf PM2.5. Die übrigen Endpunkte auf PM10.

³ Akute Infektionen der unteren Atemwege ist ein Überbegriff für akute Bronchitis und ersetzen diesen Gesundheitsendpunkt.

⁴ Chronisch obstruktive Lungenerkrankungen (COPD) ist ein Überbegriff für chronische Bronchitis und ersetzen diesen Gesundheitsendpunkt.

Tabelle 3: Vorauswahl von Gesundheitsendpunkten für NO₂ als Input für die Evidenzbewertung.

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

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

3.3.2 Finale Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare

Für die finale Auswahl der Gesundheitsendpunkte wurden folgenden Kriterien angewendet (Tabelle 4):

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

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

Tabelle 4 Auswahlkriterien für die Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare.

Kriterium	GeLuft-Auswahl
Ausreichende Evidenz bei HRAPIE und US EPA ISA (beide)	Ausgewählt
Ausreichende Evidenz bei entweder HRAPIE oder US EPA ISA (eine davon)	
Unzureichende Evidenz (oder keine Angabe) bei HRAPIE und US EPA ISA aber ausreichende Evidenz bei HEI ¹	
Doppelzählung (Überschneidung zwischen Schadstoffen und Gesundheitsendpunkten)	Nicht ausgewählt (aber im Appendix gezeigt)
Unzureichende Evidenz (oder keine Angabe) bei HRAPIE, US EPA ISA und HEI	Nicht ausgewählt

¹ Review mit Fokus auf Folgen verkehrsbedingter Luftbelastung des Health Effect Instituts (HEI) (HEI 2022). Das HEI Review beurteilte die Evidenz über zwei Ansätze. Die erste Bewertung bezog sich auf die Evidenz, die sich nach anerkannter Methodik aus den Metaanalysen der Studien über verschiedene Schadstoffe ergaben, wobei das höchste Evidenzniveau eines Schadstoffs (NO₂, NO, elementarer Kohlstoff, PM2.5, PM10) ausschlaggebend war. Die zweite Bewertung (spezifisch für jeden Schadstoff) ging über die formale Evidenzbeurteilung der metaanalytischen Ergebnisse hinaus, indem sie die Gesamtheit der Studien (inklusive Studien mit indirekten Verkehrsmessgrößen wie Nähe zum Verkehr) und die Konsistenz der Ergebnisse einbezog und eine Evidenzbeurteilung für verkehrsbedingte Luftbelastung als Ganzes vornahm. Die Evidenzskala reichte von sehr niedrig, niedrig, moderat bis stark. Wir betrachten die Evidenz als ausreichend, wenn der erste Wert mindestens als «moderat» und der zweite Wert (d.h. «moderat-niedrig») bewertet wurde.

Tabelle 5 und Tabelle 6 fassen die Bewertung zusammen und zeigen die ausgewählten sowie die nicht ausgewählten Gesundheitsendpunkte (mit einer Begründung) für PM2.5 bzw. NO₂. Die detaillierten Ergebnisse dieser Bewertung befinden sich im Appendix (Tabelle A 6 bis Tabelle A 7).

Gesundheitsdaten und Effektschätzer sind für alle vorausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare in der Literatur verfügbar. Für die Paare PM2.5-Asthma bei Erwachsenen, PM2.5-Frühgeburt und NO₂-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 Gesundheitsendpunkten ausgeschlossen. Das heisst, ein bestimmter Gesundheitsendpunkt 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 Gesundheitsendpunkte aus der EEV-2010 wurden modifiziert: Chronische Bronchitis wurde durch den Oberbegriff «chronisch obstruktive Lungenerkrankungen» (COPD), akute Bronchitis durch den Gesundheitsendpunkt «akute Infektionen der unteren Atemwege» (ALRI) sowie Asthmaanfälle durch die umfassendere Metrik Inzidenz von Asthma ersetzt. Zudem wurden die Asthma Gesundheitsendpunkte nur für NO₂ berücksichtigt (und nicht für PM2.5), da die Evidenz stärker als für PM2.5 ist. Im Gegensatz dazu wurden die anderen NO₂-Gesundheitsendpunkte, nämlich Sterblichkeit, akute Infektionen der unteren Atemwege («ALRI») und Spitaleintritte durch PM2.5 abgedeckt (und für NO₂ nur in der Sensitivitätsanalyse im Appendix B gezeigt).

Tabelle 5: Berücksichtigte und ausgewählte Gesundheitsendpunkte für PM2.5.

	Gesundheitsendpunkt	Auswahl
PM2.5 langfristige Exposition	Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen	Ausgewählt
	Säuglingssterblichkeit	Ausgewählt
	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	Nicht ausgewählt (unzureichende Evidenz)
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	Nicht ausgewählt (Überschneidung mit NO ₂), aber im Appendix gezeigt
	Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern (ALRI)	Ausgewählt
	Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen	Nicht ausgewählt (Überschneidung mit COPD), aber im Appendix gezeigt
	Inzidenz von chronisch 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 (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 (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 (unzureichende Evidenz)
	Tage von Asthmaanfällen bei Kindern	Nicht ausgewählt (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 Gesundheitsendpunkte für NO₂.

	Gesundheitsendpunkt	Auswahl
NO ₂ 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

3.4 Inputdaten

3.4.1 Luftbelastung

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

3.4.2 Effektschätzer

Für jedes Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paar 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 europäische 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») gegenüber anderen Effektschätzern. Beide Projekte betrachteten ausschliesslich europäische Kohorten, inklusive Schweizer Daten in einigen Auswertungen. Damit repräsentieren diese Effektschätzer die Bedingungen in der Schweiz am besten. Ansonsten wurden weitere Metaanalysen berücksichtigt, wobei solchen mit einem hohen Anteil an europäischen Studien Vorzug gegeben wurde. Tabelle 7 zeigt die ausgewählten Effektschätzer, die für die Quantifizierung der Gesundheitseffekte der ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare verwendet wurden.

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

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 µg/m ³ : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Wie in der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
PM2.5 langfristige Exposition	Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen	1.118 [1.060; 1.179]	1.118 [1.06; 1.179] pro 10 µg/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 µg/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 µg/m ³ PM2.5	Bayesian Metaanalyse von 4 Studien, 2 davon in Europa (Mehta et al. 2013)
	Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen	1.369 [1.124; 1.664]	1.17 [1.06; 1.29] pro 5 µg/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 µg/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 µg/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 µg/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 µg/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 µg/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 µg/m ³ PM2.5	Gepoolte Analyse aus 7 europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Wolf et al. 2021)
PM2.5 kurzfristige Exposition	Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	1.019 [0.998; 1.040]	1.019 [0.998; 1.04] pro 10 µg/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 µg/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 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrößen (Jahre 1976-1981) aus den USA (Ostro 1987)
	Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1.070 [0.997; 1.148]	1.0699 [0.9971; 1.1481] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrößen (Jahre 1976-1981) aus den USA (Ostro 1987)

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mittelwert [Konfidenzintervall]	Wie in der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
NO ₂ 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 ₂	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 ₂	Metaanalyse von 12 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)

3.4.3 Gesundheitsdaten

Die Daten zu den Gesundheitsendpunkten wurden systematisch erhoben (wenn möglich für das Jahr 2019). Wenn für einen Gesundheitsendpunkt 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-Gesundheitsendpunkt-Paare verwendet wurden. Für die nicht ausgewählten Gesundheitsendpunkte sind die Daten in Tabelle A 5 im Appendix zusammengestellt.

Tabelle 8: Daten zur Häufigkeit der ausgewählten Gesundheitsendpunkte.

Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten	
	Jährliche Erkrankungsfälle	Quelle
Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen	Nach Alter und Geschlecht	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)
Säuglingssterblichkeit	Nach Alter und Geschlecht	
Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern	9'413	Fälle (Infektion der unteren Atemwege) 2019 im Alter 5-19 aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹
Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen	30'747	Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹
Inzidenz von Demenz bei Senioren	18'361	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	Fälle 2019 im Alter 20+: 28'542. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹
Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen	29'730	Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹
Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen	4'800	Fälle pro Jahr (Alle Altersklassen, Durchschnitt 2015-2019) aus der Nationalen Krebsregistrierungsstelle (NKRS 2022) ^{1,2}
Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten	2'154	Neugeborene 2019 und Anteil mit niedrigem Geburtsgewicht und Frühgeburten aus BFS (BFS 2022b) ¹
Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen	21'041	Fälle 2020 für alle Alter aus BFS (BFS 2022c) ^{1,2}
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	90'038	Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 (BFS 2022a)
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	158'638	Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 (BFS 2022a)
Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen	133'740'696	Tage pro Erwachsene aus Studie in den USA (Ostro and Rothschild 1989)
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	28'872'569	Tage pro Arbeitenden im Alter 20-60 aus Studie in den USA (Ostro and Rothschild 1989)
Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	19'604	Fälle 2019 im Alter 20+ aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹
Inzidenz von Asthma bei Kindern	10'580	Fälle 2019 im Alter 5-19 aus Schätzung der Global Burden of Disease Results (IHME 2020) ¹

¹ Erkrankungsrate berechnet mit der Bevölkerung 2019 aus BFS (BFS 2022f).

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

3.5 Software

Die Datenanalyse programmierten wir mit der Programmiersprache R (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-Pakete (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 PM_{2.5}-Gesundheitsnutzen in der Schweiz, wenn die Luftbelastung überall in der Schweiz die WHO-AQG-2021-Werte einhalten würde im Vergleich zu den Szenarien. Im Jahr 2019 würden im Vergleich zu einer mittleren Luftbelastung in Höhe der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV (Szenario 1) 3'368 luftverschmutzungsbedingte Todesfälle (35'800 verlorene Lebensjahre) bei Erwachsenen vermieden werden. Im Vergleich zur Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (Szenario 2) könnten 2'245 Todesfälle (23'851 verlorene Lebensjahre) vermieden werden und im Vergleich zur tatsächlich aufgetretenen bevölkerungsgewichteten Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (Szenario 3) 2'610 Todesfälle (27'742 verlorene Lebensjahre).

Zusätzlich quantifizierten wir den PM_{2.5}- und NO₂-Gesundheitsnutzen für 14 Morbiditätsendpunkte. Beispielsweise würde die Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte für PM_{2.5} im Vergleich zum Szenario 1 zu einer Reduktion von rund 3.2 Millionen Tagen mit eingeschränkter Aktivität führen (Vergleich zu Szenarien 2 und 3: ca. 2.1 bzw. 2.5 Millionen Tage). Demenz, COPD und ischämische Herzkrankheiten sind die drei häufigsten Krankheiten, die durch eine Verringerung der PM_{2.5}-Belastung vermieden werden könnten (zwischen ca. 2'000 und 7'000 Fälle je nach Krankheit und Szenario) (Tabelle 9). Die Einhaltung des WHO-AQG-2021-Werts für NO₂ würde im Vergleich zu Szenario 1 zu 3'402 weniger Fällen von Asthma bei Erwachsenen führen bzw. 1'146 im Szenario 3 (Tabelle 10).

Detaillierte Ergebnisse mit Konfidenzintervallen der Effektschätzer befinden sich im Appendix (Tabelle A 8 und Tabelle A 9). Ergebnisse für alternative Gesundheitsdaten und Effektschätzer, sowie für nicht ausgewählte Gesundheitsendpunkte sind ebenfalls im Appendix (Tabelle A 10 bis Tabelle A 17) verfügbar.

Tabelle 9: PM2.5-Gesundheitsauswirkungen, die 2019 durch die Einhaltung der 2021 WHO Air Quality Guidelines vermieden würden.

	Gesundheitsendpunkt	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m³ PM2.5) im Vergleich zum...			
		Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzw erte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewich tete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m³ PM2.5)	
PM2.5 langfristige Exposition	Todesfälle bei Erwachsenen	3'368	2'245	2'610	
	Todesfälle bei Säuglingen	8	6	6	
	Verlorene Lebensjahre bei Erwachsenen	35'800	23'851	27'742	
	Verlorene Lebensjahre bei Säuglingen	685	454	530	
	Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern	519	346	402	
	Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen	4'468	3'027	3'501	
	Inzidenz von Demenz bei Senioren	6'960	4'955	5'640	
	Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen	1'359	904	1'052	
	Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen	3'420	2'304	2'670	
	Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen	552	372	431	
	Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten	329	223	258	
	Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen	1'913	1'283	1'489	
	PM2.5 kurzfristige Exposition	Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	843	558	650
		Spitaleintritte wegen Herz-/ Kreislaufkrankungen	709	468	546
Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen		3'179'613	2'107'118	2'455'062	
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden		959'099	636'634	741'366	

Tabelle 10: NO₂-Gesundheitsauswirkungen, die 2019 durch die Einhaltung der 2021 WHO Air Quality Guidelines vermieden würden.

	Gesundheitsendpunkt	NO ₂ -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m ³ NO ₂) im Vergleich zum...		
		Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m ³ NO ₂)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenz werte der LRV in der ganzen Schweiz	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewic htete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (16.32 µg/m ³ NO ₂)
NO ₂ langfristige Exposition	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	3'402	(nicht vorhanden)	1'146
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	984	(nicht vorhanden)	321

5. DISKUSSION

Eine Reduktion der Luftbelastung (PM_{2.5} und NO₂) in der Schweiz, welche die WHO-AQG-2021-Werte einhalten würde, würde einen deutlichen Gesundheitsnutzen bringen. Die luftverschmutzungsbedingte Sterblichkeit und Krankheitsfälle könnten damit reduziert werden (siehe Tabelle 9 und Tabelle 10).

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 Gesundheitsendpunkte nur im Appendix gerechnet und nicht zum Gesamtergebnis addiert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der NO₂-Effekte auch unabhängig von der PM_{2.5}-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 Auswirkungen dar. Der Air Quality Life Index der Universität Chicago hat ebenfalls eine ähnliche Bewertung für Europa nach Ländern veröffentlicht (University of Chicago 2023). Die Ergebnisse sind aber leider nicht mit unserer Studie vergleichbar. Die Mortalität wurde als Zunahme der Lebenserwartung gemessen (0.4 Jahre für eine Belastung von 9.4 µg/m³ PM_{2.5}) und nicht als vermeidbare Todesfälle oder verlorene Lebensjahre.

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. Hinsichtlich unserer Inputdaten sind die folgenden Aspekte zu erwähnen. Die Auswahl der Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-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 Tabelle A 10 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 folglich in der Berechnung geringere Gesundheitsauswirkungen ergeben würde.

Für die meisten Gesundheitsendpunkte konnten Daten zu den Krankheitshäufigkeiten nicht aus der Schweizer Statistik erhoben werden, sondern wir mussten Schätzungen wie zum Beispiel von der GBD-Studie verwenden. In den meisten Fällen (12 von 16 Gesundheitsdaten) waren jedoch die Werte 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 Altersgruppen 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, auch wenn der Effekt auf die Sterblichkeit gering ist. Hätten wir die Berechnung der Sterblichkeit mit der Altersgruppe 30+ durchgeführt, wäre z.B. die Anzahl Todesfälle um ca. 0.2% tiefer ausgefallen.

Für die Berechnung der verlorenen Lebensjahre wurde keine Diskontrate angewendet, anders als 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, wäre der Gesundheitsnutzen der verlorenen Lebensjahre bei Erwachsenen um ca. 8.6% niedriger gewesen. Bei Säuglingen wäre die Schätzung um ca. 31.7% tiefer ausgefallen.

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 weiterhin korrekt 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-Gesundheitsendpunkt-Paare, Effektschätzer und Gesundheitsdaten publizieren wird. Diese Empfehlungen könnten international wieder zum Gold-Standard werden und sollten daher in Zukunft berücksichtigt werden.

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Würden die Immissionswerte der Luftverschmutzung überall in der Schweiz die WHO-AQG-2021-Werte einhalten, könnten viele Todesfälle und Erkrankungen vermieden werden. Deshalb wäre

eine Aktualisierung der LRV mit den neuen WHO-AQG-2021-Werten von grossem gesundheitlichen Nutzen.

Die Schätzungen deuten darauf hin, dass ein erheblicher Gesundheitsgewinn erzielt werden kann, 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 umgesetzten Luftreinemassnahmen 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.

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/h-erz-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_{2.5} and NO₂ 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)

EKL (2020) Immissionsgrenzwerte und akzeptierte Risiken: Zwei lufthygienische Konzepte für Feinstaub und Lungenkrebs im Vergleich. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL),

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_{2.5} 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

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 NO₂ 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

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

University of Chicago (2023) Air Quality Index. Europa Factsheet.

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-Gesundheitsendpunkte aus der Literatur inklusive Transformation in ein einheitliches Bewertungsschema.

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

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

² 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, jedoch meistens für Krankheitsoberbegriffe. Für die meisten der in der Tabelle aufgeführten spezifische Gesundheitsendpunkte (ausser Sterblichkeit) macht die US EPA ISA keine explizite Bewertung der Evidenz, sondern eine narrative Beschreibung der Bewertung.

³ Review mit Fokus auf Folgen verkehrsbedingter Luftbelastung des Health Effect Instituts (HEI) (HEI 2022). Das HEI Review beurteilt die Evidenz über zwei Ansätze. Die erste Bewertung bezog sich auf die Evidenz, die sich nach anerkannter Methodik aus den Metaanalysen der Studien über verschiedene Schadstoffe ergaben, wobei das höchste Evidenzniveau eines Schadstoffs (NO₂, NO, elementarer Kohlstoff, PM2.5, PM10) ausschlaggebend war. Die zweite Bewertung (spezifisch für jeden Schadstoff) ging über die formale Evidenzbeurteilung der metaanalytischen Ergebnisse hinaus, indem sie die Gesamtheit der Studien (inklusive Studien mit indirekten Verkehrsmessgrössen wie Nähe zum Verkehr) und die Konsistenz der Ergebnisse einbezog und eine Evidenzbeurteilung für verkehrsbedingte Luftbelastung als Ganzes vornahm. Die Evidenzskala reichte von sehr niedrig, niedrig, moderat bis stark. Wir betrachten die Evidenz als ausreichend, wenn der erste Wert mindestens als «moderat» und der zweite Wert (d.h. «moderat-niedrig») bewertet wurde.

⁴ Keine Unterscheidung von Erwachsenen und Kindern.

⁵ 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.

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

Tabelle A 2: Evidenz für NO₂-Gesundheitsendpunkte aus der Literaturrecherche nach Quelle.

	Gesundheitsendpunkt	Quelle	Evidenzbewertung gemäss Quelle	Unsere Transformation der Evidenzbewertung
NO ₂ langfristige Exposition	Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen	(WHO 2013) ¹	Ausreichend mit Ungewissheit (B)	Ausreichend ²
		(US EPA 2016) ³	Siehe Seite 1285 (6-157)	Unzureichend
	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	(WHO 2013) ¹	Keine Angabe	Keine Angabe
		(US EPA 2016) ³	Siehe Seite 838 (6-63)	Unzureichend
		(HEI 2022) ⁴	Hoch-Moderat	Ausreichend
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	(WHO 2013) ¹	Keine Angabe	Keine Angabe
		(US EPA 2016) ³	Siehe Seite 838 (6-63)	Ausreichend
		(HEI 2022) ⁴	Moderat-Hoch	Ausreichend
	Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern	(WHO 2013) ¹	Keine Angabe	Keine Angabe
		(US EPA 2016) ³	Siehe Seite 841 (6-66)	Unzureichend
		(HEI 2022) ⁴	Hoch-Moderat	Ausreichend
	Inzidenz von Leukämie bei Kindern	(WHO 2013) ¹	Keine Angabe	Keine Angabe
(US EPA 2016) ³		Siehe Seite 949 (6-174)	Unzureichend	
NO ₂ kurzfristige	Spitaleintritte wegen Atemwegerkrankungen	(WHO 2013) ¹	Ausreichend (A)	Ausreichend
		(US EPA 2016) ³	Keine Angabe	Keine Angabe ⁵

¹ Evidenz aus dem WHO-Projekt HRAPIE.

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

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

⁴ Review mit Fokus auf Verkehrsbezogene Effekte aus dem Health Effect Institute (HEI). Die erste Bewertung bezieht sich auf die Stärke der Evidenz verkehrsbedingter Luftverschmutzung (NO₂, NO_x, EC, PM₁₀ und PM_{2.5} zusammen) und die zweite Bewertung auf die Qualität der Evidenz spezifisch für NO₂. 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.

⁵ 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 Gesundheitsendpunkt (kursiv) wurde für die Berechnung priorisiert bzw. verwendet.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 µg/m³ 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/m³ PM2.5</i>	<i>Metaanalyse von 8 europäischen ELAPSE Kohortenstudien (Brunekreef et al. 2022)¹</i>
		1.062 [1.040; 1.083]	1.062 [1.04; 1.083] pro 10 µg/m³ PM2.5	Metaanalyse von 13 weltweite Kohortenstudien (Hoek et al. 2013) ²
	Säuglingssterblichkeit	<i>1.058 [0.972; 1.161]</i>	<i>1.04 [0.98; 1.11] pro 7 µg/m³ 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/m³ PM10	Studie basiert auf 4 Millionen Kindern in den USA (Woodruff et al. 1997) ²
		1.018 [1.003; 1.034]	1.013 [1.002; 1.025] pro 10 µg/m³ PM10	Metaanalyse von 9 Studien, 2 davon in Europa aber nicht langfristig, sondern nur kurzfristige Exposition (Kihal-Talantikite et al. 2020) ³
	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/m³ PM2.5</i>	<i>Bayesian Metaanalyse von 4 Studien, 2 davon in Europa (Mehta et al. 2013)⁴</i>
	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	<i>1.488 [1.082; 2.045]</i>	<i>1.22 [1.04; 1.43] pro 5 µg/m³ PM2.5</i>	<i>Gepoolte Analyse für langfristige Exposition aus sieben europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Liu et al. 2021b)⁵</i>
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	<i>1.562 [0.884; 2.756]</i>	<i>1.25 [0.94; 1.66] pro 5 µg/m³ PM2.5</i>	<i>Metaanalyse von 4 europäischen Kohorten (4 Länder) des Projekts ESCAPE (Gehring et al. 2015)⁶</i>
		1.769 [0.810; 3.920]	1.33 [0.9; 1.98] pro 5 µg/m³ PM2.5	Metaanalyse von 5 Studien, 2 davon in Europa (HEI 2022) ⁷
	Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankung	<i>1.369 [1.124; 1.664]</i>	<i>1.17 [1.06; 1.29] pro 5 µg/m³ PM2.5</i>	<i>Gepoolte Analyse aus 3 europäische Kohorten des Projekts ELAPSE (Liu et al. 2021a)⁸</i>

¹ Sieben administrative Kohorten und eine gepoolte Kohortenstudien aus acht prospektive Kohorten. Empfohlen bei der European Respiratory Society und International Society of Environmental Epidemiology.

² Diese Quelle wurde bei der Studie EEV-2010 (ARE 2014) verwendet, wie empfohlen im WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

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

⁴ Die zwei europäischen Studien sind aus den Niederlanden und Tschechien, die zwei nicht-europäischen Studien aus den USA.

⁵ Die Kohorten sind aus Schweden (2), Dänemark (2), Deutschland (2) und den Niederlanden.

⁶ Die Kohorten sind aus Deutschland (2), den Niederlanden und Schweden.

⁷ Die zwei europäischen Studien sind aus den Niederlanden und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäischen Studien sind aus Kanada (2) und den USA.

⁸ Die Kohorten sind aus Dänemark (2) und Schweden.

Gesundheitspunkt	Effektschätzer		
	Standardisiert pro 10 µg/m ³ PM2.5 : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
Inzidenz von COPD bei Erwachsenen	1.180 [1.130; 1.230]	1.18 [1.13; 1.23] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 5 Studien, 1 davon in Europa (Park et al. 2021) ⁹
Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen	1.164 [1.055; 1.268]	1.117 [1.04; 1.189] pro 10 µg/m ³ PM10	Kombination der longitudinalen AHSMOG in den USA und SAPALDIA Studien in der Schweiz (WHO 2013) ²
Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen	2.594 [0.590; 11.506]	1.21 [0.9; 1.63] pro 2 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 6 Studien aus Europa (Wilker et al. 2023) ¹⁰
	1.217 [0.951; 1.539]	1.04 [0.99; 1.09] pro 2 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 14 Studien, 6 davon aus Europa (Wilker et al. 2023) ¹¹
	3.395 [1.629; 6.727]	1.13 [1.05; 1.21] pro 1 µg/m ³ 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 ³ 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 ³ PM2.5	Metaanalyse von 11 Studien, 3 davon aus Europa (Yang et al. 2020) ¹²
	1.100 [1.040; 1.170]	1.1 [1.04; 1.17] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 4 Studien, zwei davon aus Europa (HEI 2022) ¹³ . 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 ³ 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 ³ 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 ³ PM2.5	Metaanalyse von 40 Studien, 3 davon aus Europa (Ghosh et al. 2021) ¹⁴
Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen	1.277 [0.960; 1.690]	1.13 [0.98; 1.3] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 11 europäische Kohorten (fünf Länder) des Projekts ESCAPE (Cesaroni et al. 2014) ¹⁵
	1.188 [0.740; 1.932]	1.09 [0.86; 1.39] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 4 Studien, 3 davon in Europa (HEI 2022) ¹⁶
	1.080 [0.990; 1.180]	1.08 [0.99; 1.18] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 11 Studien, drei davon in Europa. Nicht ischämischer Herzkrankheit, sondern Herzinfarkt (Alexeeff et al. 2021) ¹⁷

⁹ Die europäischen Studien sind aus Grossbritannien. Die vier nicht-europäischen Studien aus Kanada (2), den USA und Taiwan. Die Effektschätzer in der Tabelle beziehen sich auf Hazard Raten. Odd Raten sind separat berechnet aber mit weniger Studien.

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

¹¹ Fünf Studien aus den USA, zwei aus Kanada, sechs aus Europa und eine Studie aus China.

¹² Die europäischen Studien sind aus Deutschland, Dänemark und Italien.

¹³ Die zwei europäischen Studien sind aus Italien und Deutschland, die nicht-europäischen Studien aus den USA.

¹⁴ 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 den USA.

¹⁵ Die Kohorten sind aus Schweden (4), Italien (3), Deutschland (2), Dänemark und Finnland. Effektschätzer für PM10 sind auch erhältlich.

¹⁶ Die drei europäischen Studien sind aus Schweden (2) und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studie ist aus Kanada. Effektschätzer für PM10 sind auch verfügbar.

¹⁷ Die drei europäischen Studien sind aus Grossbritannien, Italien und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die acht nicht-europäischen Studien sind aus den USA (7) und Kanada.

Gesundheitspunkt	Effektschätzer		
	Standardisiert pro 10 µg/m ³ PM2.5 : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen	1.277 [1.102; 1.513]	1.13 [1.05; 1.23] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Gepoolte Analyse aus 7 europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Hvidtfeldt et al. 2021) ¹⁸
	1.392 [0.922; 2.132]	1.18 [0.96; 1.46] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 17 europäischen Kohorten (9 Länder) des Projekts ESCAPE (Raaschou-Nielsen et al. 2013) ¹⁹
	1.090 [0.720; 1.460]	1.09 [0.72; 1.46] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 3 Studien aus Europa (Ciabattini et al. 2021) ²⁰
Inzidenz von niedrigem Geburtsgewicht bei Termingeburten	1.392 [1.124; 1.769]	1.18 [1.06; 1.33] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 14 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013) ²¹
	1.232 [1.061; 1.440]	1.11 [1.03; 1.2] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von sieben Studien, drei davon in Europa (HEI 2022) ²²
	1.110 [1.070; 1.160]	1.11 [1.07; 1.16] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 40 Studien, 4 davon aus Europa. Früh- und Termingeburten zusammen (Ghosh et al. 2021) ²³
Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen	1.210 [1.020; 1.464]	1.1 [1.01; 1.21] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Gepoolte Analyse aus 7 europäischen Kohorten des Projekts ELAPSE (Wolf et al. 2021) ¹⁸
	1.416 [0.774; 2.624]	1.19 [0.88; 1.62] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 11 europäischen Kohorten (5 Länder) des Projekts ESCAPE (Stafoggia et al. 2014) ¹⁵
	1.166 [0.792; 1.742]	1.08 [0.89; 1.32] pro 5 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 4 Studien, 3 davon in Europa (HEI 2022) ²⁴
	1.130 [1.110; 1.150]	1.13 [1.11; 1.15] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse aus 14 Studien, 5 davon aus Europa (Alexeeff et al. 2021) ²⁵
	1.048 [1.020; 1.076]	1.048 [1.02; 1.076] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse von 18 Studien, 5 davon in Europa (Niu et al. 2021) ²⁶
Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern	1.111 [0.973; 1.270]	1.08 [0.98; 1.19] pro 10 µg/m ³ PM10	Metaanalyse von 8 Studien (7 davon in Europa und 1 in der Schweiz). PATY Studie mit ca.

¹⁸ Die Kohorten sind aus Schweden (2), Dänemark (2), Deutschland (2) und den Niederlanden.

¹⁹ Die Kohorten sind aus Schweden (5), Italien (4), den Niederlanden (2), Dänemark, Griechenland, Grossbritannien, Österreich, Norwegen und Spanien. Effektschätzer für PM10 sind auch erhältlich.

²⁰ Die europäischen Studien sind aus Grossbritannien, den Niederlanden und mehreren internationalen Standorten (ESCAPE Studie). Der Effektschätzer aus dem Projekt ESCAPE war niedriger als 1 und daher nicht in dieser Tabelle eingefügt. Effektschätzer für PM10 und globale Schätzer aus 15 Ländern weltweit (sieben aus Nordamerika, fünf aus Asien und drei aus Europa) sind auch erhältlich.

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

²² Die drei europäischen Studien sind aus Grossbritannien, Spanien und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die übrigen vier Studien sind aus den USA (3) und Kanada.

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

²⁴ Die drei europäischen Studien sind aus Schweden (2) und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die nicht-europäische Studie ist aus Australien. Effektschätzer für PM10 sind auch erhältlich.

²⁵ Die fünf europäischen Studien sind aus Grossbritannien (2), Italien, Schweden und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE Studie). Die acht nicht-europäischen Studien sind aus den USA (5), China (2), Australien und Kanada.

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

	Gesundheitspunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 µg/m ³ PM2.5 : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Original der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
				40'000 Kindern (Hoek et al. 2012) ^{2,27}
PM2.5 kurzfristige Exposition	Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	1.019 [0.998; 1.040]	1.019 [0.998; 1.04] pro 10 µg/m ³ PM2.5	APED Metaanalyse von drei Einzelstädtestudien (WHO 2013) ²
	Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	1.009 [1.001; 1.017]	1.009 [1.001; 1.017] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Bei EEV-2010 verwendet. APED Metaanalyse von vier Einzelstädtestudien und einer Multicenterstudie (WHO 2013) ²
	Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen	1.040 [1.018; 1.062]	1.029 [1.013; 1.045] pro 10 µg/m ³ PM10	Metaanalyse von 6 europäischen Studien (ARE 2014) ²⁸
	Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern	1.039 [1.008; 1.071]	1.028 [1.006; 1.051] pro 10 µg/m ³ PM10	Metaanalyse von 36 Panelstudien an asthmatischen Kindern aus 51 Populationen, 36 davon in Europa (Weinmayr et al. 2010) ²
	Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen	1.049 [1.042; 1.053]	1.0493 [1.042; 1.053] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrössen (Jahre 1976-1981) aus den USA (Ostro 1987)
		1.024 [1.005; 1.043]	1.0175 [1.004; 1.0311] pro 10 µg/m ³ PM10	Metaanalyse von 7 Studien (Orellano et al. 2023) ²⁹
		1.047 [1.042; 1.053]	1.047 [1.042; 1.053] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987) ²
	Tage mit Erwerbsausfall bei Erwerbstätigen	1.070 [1.039; 1.053]	1.0699 [1.039; 1.053] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Metaanalyse einer Querschnittstudie (Orellano et al. 2023) mit 6 Effektgrössen (Jahre 1976-1981) aus den USA (Ostro 1987)
		1.046 [1.039; 1.053]	1.046 [1.039; 1.053] pro 10 µg/m ³ PM2.5	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987) ²

²⁷ Die europäischen Studien sind aus der Schweiz, Deutschland, Italien, den Niederlanden, Russland und mehreren Standorten in Europa. Die übrige Studie ist aus den USA.

²⁸ Diese Quelle wurde bei der Studie EEV-2010 (ARE 2014) verwendet, ohne Empfehlung vom WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

²⁹ Die europäischen Studien sind aus Norwegen, Italien, den Niederlanden, Russland und mehreren Standorten in Europa. Die übrigen Studien sind aus China (2), den USA (2) und Korea. Die Metaanalyse für eingeschränkte Aktivität inkludierte Studien für Schulausfall, Erwerbsausfall oder beide. Darüber hinaus zeigte die Metaanalyse keinen Effektschätzer für Feinstaub und Erwerbsausfall. Daher wurde die Metaanalyse nicht ausgewählt.

Tabelle A 4: Verfügbare Effektschätzer für NO₂. Der erste Effektschätzer von jedem Gesundheitsendpunkt (kursiv) wurde für die Berechnung priorisiert bzw. verwendet.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 µg/m ³ PM2.5 : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Wie in der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
NO ₂ langfristige Exposition	Krankheitsbedingte Sterblichkeit bei Erwachsenen	<i>1.045 [1.026; 1.065]</i>	<i>1.045 [1.026; 1.065] pro 10 µg/m³ NO₂</i>	<i>Metaanalyse von 8 europäischen ELAPSE Kohortenstudien (Brunekreef et al. 2022)¹</i>
		1.055 [1.031; 1.080]	1.055 [1.031; 1.080] pro 10 µg/m ³ NO ₂	Metaanalyse von 13 weltweite Kohortenstudien (Hoek et al. 2013) ²
	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/m³ NO₂</i>	<i>Metaanalyse von 11 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)³</i>
	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	<i>1.100 [0.990; 1.210]</i>	<i>1.10 [0.99; 1.21] pro 10 µg/m³ NO₂</i>	<i>Metaanalyse von 6 europäischen Kohorten (12 Länder) des Projekts ESCAPE (Pedersen et al. 2013)⁴</i>
		1.100 [1.010; 1.210]	1.10 [1.01; 1.21] pro 10 µg/m ³ NO ₂	Metaanalyse von 7 Studien, 5 davon in Europa (HEI 2022) ⁵
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	<i>1.050 [0.990; 1.120]</i>	<i>1.05 [0.99; 1.12] pro 10 µg/m³ NO₂</i>	<i>Metaanalyse von 12 Studien, 8 davon in Europa (HEI 2022)⁶</i>
		1.130 [1.051; 1.184]	1.05 [1.02; 1.07] pro 4 µg/m ³ NO ₂	Metaanalyse von 20 Studien, 9 davon in Europa (Khreis et al. 2017) ⁷
Inzidenz von Leukämie bei Kindern	<i>1.190 [1.070; 1.320]</i>	<i>1.19 [1.07; 1.32] pro 10 µg/m³ NO₂</i>	<i>Metaanalyse von 11 Studien, sieben davon in Europa (Wei et al. 2021)⁸</i>	

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

² Wie empfohlen bei dem WHO-Projekt HRAPIE (WHO 2013).

³ Die acht europäischen Studien sind aus Deutschland (2), aus den Niederlanden, Spanien, Frankreich, Italien, Norwegen und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in die Tabelle eingefügt. Die übrigen vier Studien sind aus den USA, Kanada und China.

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

⁵ Die acht europäischen Studien sind aus Schweden, Dänemark und zwei von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE und ECRHS-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in die Tabelle eingefügt. Die übrigen zwei Studien sind aus Kanada und Australien.

⁶ Die acht europäischen Studien sind aus Deutschland (2), den Niederlanden, Spanien, Frankreich, Italien, Norwegen und von mehreren europäischen Standorten (ESCAPE-Studie). Die ESCAPE-Studie fokussiert sich auf Pneumonie, daher wurde sie nicht in die Tabelle eingefügt. Die übrigen vier Studien sind aus den USA, Kanada und China.

⁷ Die neun europäischen Studien sind aus Deutschland, Grossbritannien, Norwegen, Italien und fünf von mehreren europäischen Standorten. Die übrigen Studien sind aus Kanada (4), den USA (3), China (2), Korea und Japan.

⁸ Die sieben europäischen Studien sind aus Dänemark (3), Frankreich (2), Schweden und Italien. Die übrigen vier Studien sind aus den USA (2), Kanada und China.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer		
		Standardisiert pro 10 µg/m ³ PM2.5 : Mittelwert [Konfidenzintervall]	Wie in der Quelle (vor Standardisierung): Mittelwert [Konfidenzintervall]	Quelle
NO ₂ kurzfristige Exposition	Spitaleintritte wegen Atemwegerkrankungen	1.018 [1.012; 1.025]	1.018 [1.012; 1.025] pro 10 µg/m ³ NO ₂	Metaanalyse von 15 Studien, 10 davon aus Europa (WHO 2013) ⁹

⁹ Die zehn europäischen Studien sind aus Italien (8), Norwegen und Grossbritannien. Die übrigen fünf Studien sind aus Korea (3), China, und den USA.

A.1.3 Verfügbare Gesundheitsdaten

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

	Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten		
		Jährliche Erkrankungsfälle	Erkrankungsrate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) ¹	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).</i>
	Säuglingssterblichkeit	<i>Nach Alter und Geschlecht</i>	<i>Nach Alter und Geschlecht</i>	<i>Bevölkerung: Durchschnitt Ende 2018 und Ende 2019.</i>
	Inzidenz von akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern	9'413	109.77	Fälle 2019 im Alter 5-19: 9'413. Definiert als «Infektion der unteren Atemwege». Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
	Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	19'604	228.62	Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
	Inzidenz von Asthma bei Kindern	10'580	123.38	Fälle 2019 im Alter 5-19. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
	Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen	27'452	320.14	SAPALDIA Studie (Schindler et al. 2009) ^{2,3} : Inzidenz 3.9 per 1,000 Erwachsenen Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.39 (BFS 2022f). Annahme: Die Inzidenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: $3.9 \cdot 100 \cdot 70.39$
	Inzidenz von chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) bei Erwachsenen	30'747	358.57	Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
		91'507	1'067.13	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. Bevölkerung bei Erwachsenen 2019 (in 100'000): 70.39 (BFS 2022f) Berechnung: $0.013 \cdot 70.39 \cdot 100'000$
Inzidenz von Demenz bei Senioren/innen	18'361	214.35	Fälle 2019 im Alter 55+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020). Bezeichnet als «Alzheimer und andere Demenzen».	
	32'200	375.51	Jährliche Fälle (Schätzung): 32'200. Schätzung auf die BAG-Webseite (BAG 2022) und Alzheimer Schweiz Factsheet (Alzheimer Schweiz 2022). Die	

¹ Erkrankungsrate berechnet als Anzahl Fälle dividiert durch die Bevölkerung 2019 in der Schweiz (Mittelwert Ende 2019 und Ende 2019; 85.75 in 100'000) (BFS 2022f)

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

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

Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten		
	Jährliche Erkrankungsfälle	Erkrankungs-rate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) ¹	Quelle
			Berechnungsmethode ist unbekannt. Spezifische Daten für das Jahr 2019 und für Senioren/innen nicht verfügbar.
Inzidenz von Diabetes Typ 2 bei Erwachsenen	28'542	332.85	Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020).
Inzidenz von Frühgeburten	5'774	67.33	Neugeborene 2019: 86'172 (BFS 2022b) Anteil Frühgeburten (36 Wochen oder weniger): 6.7% (BFS 2022b) Berechnung: 86'172*0.067
	6'605	77.02	Fälle 2019. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
Inzidenz von ischämischen Herzkrankheiten bei Erwachsenen	29'730	346.70	Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
	18'912	220.55	Fälle 2020 (BFS 2022c). Definiert als nur «akuter Myokardinfarkt». Berechnung: 12'413 (Männer)+6'499(Frauen)
Inzidenz von Leukämie bei Kindern	71	0.83	Jährliche Krebsfälle in Kinder (0-14 Jahre, Durchschnitt 2015-2019): 230 (BFS 2022d) Anteil der Leukämie in Bezug auf die Gesamtfälle (0-14 Jahre, Durchschnitt 1990-2019): 31% (BFS 2022d) Berechnung: 0.31*230
	80	0.93	Fälle 2019 für das Alter 0-14 Jahre. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
Inzidenz von Lungenkrebs bei Erwachsenen	4'800	55.98	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.
	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	25.12	Neugeborene 2019: 86'172 (BFS 2022b) Anteil mit niedrigem Geburtsgewicht: 9.4% (BFS 2022b) Anteil Frühgeburten (36 Wochen oder weniger): 6.7% (BFS 2022b) Annahme: Alle Frühgeburten haben niedriges Gewicht Berechnung: 86'172*(0.094-0.069)
Inzidenz von Schlaganfällen bei Erwachsenen	21'041	245.38	Fälle (alle Alter) 2020 (BFS 2022c). Berechnung: 11'359 (Männer) + 9'682 (Frauen)
	9'665	112.71	Fälle 2019 im Alter 20+. Schätzung aus Global Burden of Disease Results (IHME 2020)
Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern	204'276	2'382.23	Durchschnittliche Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern in Westeuropa: 18.6% PATY Studie (Hoek et al. 2012) ^{2,4} Bevölkerung im Alter 6-18 2019 (in 100'000):1'098'261(BFS 2022f).

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

	Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten		
		Jährliche Erkrankungsfälle	Erkrankungs-rate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) ¹	Quelle
				<i>Annahme: Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: 0.186*1'098'261</i>
Kurzhfristige Effekte	Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	90'038	1'050.00	<i>Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019 pro 100'000 Personen (BFS 2022a)²: 1'050 Bevölkerung 2019 (in 100'000): 85.75 (BFS 2022f) Berechnung: 1'050*85.75</i>
	Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	158'638	1'850.00	<i>Diagnosen bei Hospitalisierungen 2019: 1'850 pro 100'000 Personen (BFS 2022a)² Bevölkerung 2019 (in 100'000): 85.75 (BFS 2022f) Berechnung: 1'850*85.75</i>
	Tage mit Asthmaanfällen bei Erwachsenen	1'207'189	14'078.00	<i>Prävalenz von Asthma in Westerneuropa: 4.9% Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.39 (BFS 2022f) Asthmaanfällen pro Jahr und asthmatische Person: 3.5 SAPALDIA (Schindler et al. 2009)² und ECRHS (ECRHS 1996) Studien mit Schätzungen aus anderer Studie (Künzli et al. 1999)⁵ Annahme: Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: 0.049*70.39*100'000*3.5</i>
		675'744	7'880.40	<i>Anteil der Bevölkerung im Alter 15+ mit Asthma: 4.8%. Gesundheitsbefragung der OBSAN 2017 (OBSAN 2023b): Anfälle (Median) pro Jahr und asthmatische Person: 2. UK Asthma Survey 2018 (NHS Digital 2019) Bevölkerung im Alter 18+ 2019 (in 100'000): 70.39 (BFS 2022f) Annahmen: Der Anteil mit Asthma ist gleich für die Altersgruppe 15+ und 18+. Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: 4.8*1'000*70.39*2</i>
Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern	3'341'455	38'967.41	<i>Prävalenz von Asthma in Westerneuropa: 4.9% HRAPIE-Abschätzung (WHO 2013) basiert auf ISAAC-Studie (Lai et al. 2009)². Tägliche Inzidenz von Symptomen in dieser Altersgruppe: 17%. HRAPIE-Abschätzung (WHO 2013) basiert auf (Weinmayr et al. 2010)^{2,6} Bevölkerung im Alter 5-17 2019 (in 100'000): 10.99 (BFS 2022f) Berechnung: 0.049*10.99*100'000*0.17*365</i>	

⁵ Abschätzung (Künzli et al. 1999) basiert sich auf nicht-veröffentlichte Rohdaten von den SAPALDIA (Schindler et al. 2009) und ECRHS (ECRHS 1996) Studien, die eine weltweite Befragung mit 48 Standortdarstellt, inklusive Schweiz (Basel). Die Abschätzung nimmt 3 bis 4 Asthmaanfälle pro asthmatische Person (Künzli et al. 1999) wie berichtet von einem französische Asthmapanel (Segala C, 1999)

⁶ Abschätzung (WHO 2013) basiert sich auf die ISAAC Studie, die zwischen 2000 und 2003 mehr als eine Million Kinder weltweit (ohne Schweiz) rekrutierte und die Prävalenz von Asthma von Kinder auf 4.9% in Westerneuropa (Durschnitt 6-7 in der Altersgruppe 13-14 Jahre) schätzte (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).

Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten		
	Jährliche Erkrankungsfälle	Erkrankungs-rate (Fälle pro 100'000 Personenjahre) ¹	Quelle
	228'592	2'665.80	Anteil der Bevölkerung im Alter 14-15 mit Asthma diagnostiziert: 10.4%. Gesundheitsbefragung der OBSAN 2018 (OBSAN 2023a). Anfälle (Median) pro Jahr und asthmatische Person: 2. UK Asthma Survey 2018 (NHS Digital 2019) Bevölkerung im Alter 5-17 2019 (in 100'000): 10.99 (BFS 2022f) Annahmen: Der Anteil mit Asthma ist gleich für die Altersgruppe 14-15 und 5-17. Die Prävalenz bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: $10.4 * 1'000 * 10.99 * 2$
Tage mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen	133'740'696	1'559'658.26	<i>Tage pro erwachsene Person: 19 (Ostro and Rothschild 1989)²: Studie mit 12'000 Erwachsenen in den USA. Anzahl Erwachsenen 2019: 7'038'984 Annahme: Die Anzahl pro Person bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: $19 * 7'038'984$</i>
Tage mit Erwerbsausfall bei Erwerbstätigen	28'872'569	335'492.19	<i>Tage pro erwerbstätige Person: 7.2 (Ostro and Rothschild 1989)². Studie mit 12'000 Erwachsenen in den USA. Anzahl Erwerbstätigen im Alter 20-60 im Jahr 2019 (Hochrechnung auf 2019 basiert auf Schweizerische Arbeitskräfteerhebung und Bevölkerungsdaten vom Jahr 2015): 4'010'079 (BFS 2023) Annahme: Die Anzahl pro Person bleibt im Zeitablauf konstant. Berechnung: $7.2 * 4'010'079$</i>

A.1.4 Bewertungskriterien für die Auswahl

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

	Gesundheitsendpunkt	Evidenz ¹	Effektschätzer ²	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 chronisch 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
	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)

¹ Unzureichend = Unzureichend oder keine Angabe.

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

	Gesundheitsendpunkt	Evidenz¹	Effektschätzer²	Gesundheitsdaten
	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- / Kreislaufkrankungen	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 Asthmaanfalle 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 Erwerbstätigen	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 Gesundheitendpunkten für NO₂.

	Gesundheitse ndpunkt	Evidenz ¹	Effektschätzer ²	Gesundheitsdaten
NO ₂ 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 ₂ 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)

¹ Unzureichend = Unzureichend oder keine Angabe.

² Wenn mehr als ein Effektschätzer für eine Kategorie vorhanden sind, werden die Effektschätzer anhand der folgenden zusätzlichen Kriterien ausgewählt: Anzahl Studien/Kohorten, Anteil der Studien 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 ³	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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 ³	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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: NO₂-Gesundheitsnutzen für die ausgewählte Schadstoff-Effektschätzer Paare, ausgewählte Gesundheitsdaten und ausgewählte Effektschätzer.

	Gesundheitsendpunkt	Gesundheitsdaten (Fälle)	Effektschätzer pro 10 µg/m ³	NO ₂ -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m ³ µg/m ³ NO ₂) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m ³ NO ₂)	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 ³ NO ₂)
NO ₂ 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 ³	Quelle der Effektschätzer	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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 ³	Quelle der Effektschätzer	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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)[15]	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: NO₂-Gesundheitsnutzen im Jahr 2019 für die ausgewählten Schadstoff-Effektschätzer-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer pro 10 µg/m ³	Quelle der Effektschätzer	NO ₂ -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m ³ µg/m ³ NO ₂) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m ³ NO ₂)	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 ³ NO ₂)
NO ₂ 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 der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten in der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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 ³	Quelle der Effektschätzer	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
						Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ 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: NO₂-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 ³	Quelle der Effektschätzer	NO ₂ -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m ³ µg/m ³ NO ₂) im Vergleich zum...		
						Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m ³ NO ₂)	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 ³ NO ₂)
NO ₂ 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 ₂ 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: PM2.5-Gesundheitsnutzen für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer pro 10 µg/m ³	Quelle der Effektschätzer	PM2.5-Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m ³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m ³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m ³ PM2.5)
PM2.5 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: NO₂-Gesundheitsnutzen für die nicht ausgewählten Schadstoff-Gesundheitsendpunkt-Paare, ausgewählten Gesundheitsdaten und nicht ausgewählten Effektschätzer.

	Gesundheitsendpunkt	Effektschätzer pro 10 µg/m ³	Quelle der Effektschätzer	NO ₂ -Gesundheitsnutzen der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (10 µg/m ³ µg/m ³ NO ₂) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (30 µg/m ³ NO ₂)	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 ³ NO ₂)
Z O 2	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 der Einhaltung der WHO-AQG-2021-Werte (5 µg/m³ PM2.5) im Vergleich zum...		
				Szenario 1: Mittlere Luftbelastung der Bevölkerung entspricht den derzeit gültigen Immissionsgrenzwerten der LRV (10 µg/m³ PM2.5)	Szenario 2: Einhaltung der derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte der LRV in der ganzen Schweiz (8.3 µg/m³ PM2.5)	Szenario 3: Tatsächlich aufgetretene bevölkerungsgewichtete Exposition für die Schweiz im Jahr 2019 (8.85 µg/m³ PM2.5)
PM2.5 langfristige Exposition	Tage mit Asthmaanfällen bei Kindern	228592	OBSAN (2023)	4291 [937; 7672]	2841 [619; 5093]	3311 [721; 5930]