

OSTLUFT

Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten OSTLUFT

Schlussbericht

27. März 2024

Erarbeitet durch

econcept AG / Gerechtigkeitsgasse 20 / 8001 Zürich
www.econcept.ch / info@econcept.ch / + 41 44 286 75 75

Autor:innen

Valentin Delb, Dipl. Ing. ETH
Jasmin Annaheim, MSc ETH in Umweltwissenschaften
Anna Hotz, MA UZH in Wirtschaftswissenschaften
Stephanie Bade, lic. oec. publ., Ökonomin

Dateiname: 28994_econcept_be_gesundheitskosten ostluft_schlussbericht.docx Speicherdatum: 27. März 2024

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage und Auftrag	9
1.2 Analyserahmen und Berichtsinhalte	10
2 Vorgehen und verwendete Grundlagendaten	12
2.1 Vorgehen	12
2.2 Verwendete Grundlagendaten	14
2.2.1 Dosis-Wirkungs-Relationen (Effektschätzer) und Schwellenwerte	15
2.2.2 Inzidenz- und Prävalenzraten	17
2.2.3 Mittlere Immissionsbelastungen in der Schweiz	18
2.2.4 Bevölkerungsexposition	18
2.2.5 Kostensätze	21
2.2.6 Emissionskataster	23
3 Ergebnisse für die einzelnen Schadstoffe	24
3.1 Übersicht	24
3.2 Feinstaub PM _{2.5}	25
3.3 Stickstoffdioxid NO ₂	27
3.4 Ozon O ₃	29
3.5 Entwicklung der bestimmenden Grössen (Determinanten)	31
3.5.1 Rückblick	31
3.5.2 Ausblick	32
4 Nutzen der Verbesserung der Luftqualität	33
5 Zuordnung zu Verursachergruppen	34
5.1 Feinstaub PM _{2.5}	34
5.2 Stickstoffdioxid NO ₂	35
Literaturverzeichnis	36
Anhang	39
A-1 Begriffserklärung	39
A-2 Emissionen	41
A-2.1 Emissionskataster	41
A-2.2 Herleitung sekundäre Feinstaub-Partikel	45
A-3 Immissionen	47
A-4 Bevölkerungsexposition	48

Bevölkerungsexposition Feinstaub PM2.5	48
Bevölkerungsexposition NO ₂	49
Bevölkerungsexposition O ₃	50
A-5 Berechnungsbeispiel Attributable Fälle	51
Berechnung der attributablen Fälle pro Belastungszunahme	51
Attributable Fälle im OSTLUFT Gebiet	52
A-6 Berechnungsinputs und Zwischenergebnisse	54
A-6.1 Dosis-Wirkungs-Relationen	54
i. Feinstaub PM2.5	55
ii. Stickstoffdioxid NO ₂	60
iii. Ozon O ₃	63
A-6.2 Attributable Fälle	65
A-6.3 Kostensätze	66
A-6.4 Luftschadstoffbedingt Kosten	68

Zusammenfassung

Die erfolgreiche Luftreinhaltepolitik hat eine deutliche Verbesserung der Luftqualität während der letzten Jahrzehnte bewirkt. Trotz der Abnahme liegt die Schadstoffbelastung im Gebiet der OSTLUFT teilweise immer noch über den Immissionsgrenzwerten (IGW) der Luftreinhalteverordnung (LRV).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im September 2021 ihre neuen Luftqualitätsleitlinien vorgestellt. Die empfohlenen Luftqualitätsrichtwerte liegen deutlich tiefer als die Immissionsgrenzwerte der LRV. Damit wird bestätigt, dass die Luftverschmutzung auch unterhalb der in der Schweiz gültigen Grenzwerte zu Gesundheitsschäden führt. Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) empfiehlt dem Bundesrat deshalb eine Absenkung der IGW auf die WHO-Richtwerte (EKL, 2023). Die Auswertung der Schadstoffbelastungen im Jahr 2022 zeigen, dass der grösste Teil der Bevölkerung im OSTLUFT-Gebiet von Immissionen über dem WHO-Richtwert betroffen ist. Mit Blick auf die Vorgaben des Umweltschutzgesetzes sind daher weitere Verbesserungen durch lufthygienische Massnahmen notwendig. Als wichtiger Indikator für den weiteren Handlungsbedarf dient neben den Emissions-, Immissions- und Expositionsdaten auch die Schätzung der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten.

Kosten der Luftverschmutzung

Für die Schätzung der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten wird die Bevölkerungsexposition durch Luftschadstoffe berechnet und entsprechende Gesundheitsschäden betrachtet. Dazu werden wissenschaftlich publizierte Effektschätzer verwendet, die angeben, mit wie viel höherer Wahrscheinlichkeit eine Gesundheitsfolge auftritt, wenn die Schadstoffkonzentration zunimmt. Die Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet werden für die Jahre 2015 und 2022 sowie für die Schadstoffe Feinstaub (PM_{2.5}), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) ermittelt.

Abbildung 1 zeigt die geschätzten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten. Für die Jahre 2015 und 2022 betragen sie verursacht durch PM_{2.5} 6 Mia. CHF bzw. 5.2 Mia. CHF, durch NO₂ 4.2 Mia. CHF bzw. 1.5 Mia. CHF und durch O₃ 1.9 Mia. CHF bzw. 2.2 Mia. CHF. Der Unsicherheitsbereich ist in der Abbildung grafisch dargestellt (unteren und oberen Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle der Effektschätzer). Da die Gesundheitswirkungen der betrachteten Schadstoffe in den für diese Studie verwendeten Effektschätzer nicht klar abzugrenzen sind, dürfen die Ergebnisse der einzelnen Schadstoffe nicht addiert werden.

Die durch NO₂ und PM_{2.5} bedingten Gesundheitskosten sind zwischen 2015 und 2022 zurückgegangen, bei den Kosten durch O₃ zeigt sich ein leichter Anstieg. Die unterschiedliche Entwicklung der Gesundheitskosten ist in den Veränderungen der bestimmenden Grössen begründet. Die mittlere bevölkerungsgewichtete Schadstoffbelastung nimmt von 2015 und 2022 bei PM_{2.5} und NO₂ um 11 % bzw. 35 % ab, hingegen bleibt sie bei O₃ beinahe gleich gross (Zunahme um 1 %). Obwohl die Bevölkerung um 7 % und die

Kostensätze zwischen 2 % und 5 % zunehmen, resultieren dank der grossen Abnahme von NO_2 und $\text{PM}_{2.5}$ tiefere Gesundheitskosten. Bei O_3 führen die Bevölkerungszunahme und höheren Kostensätze hingegen zu gesteigerten Gesundheitskosten.

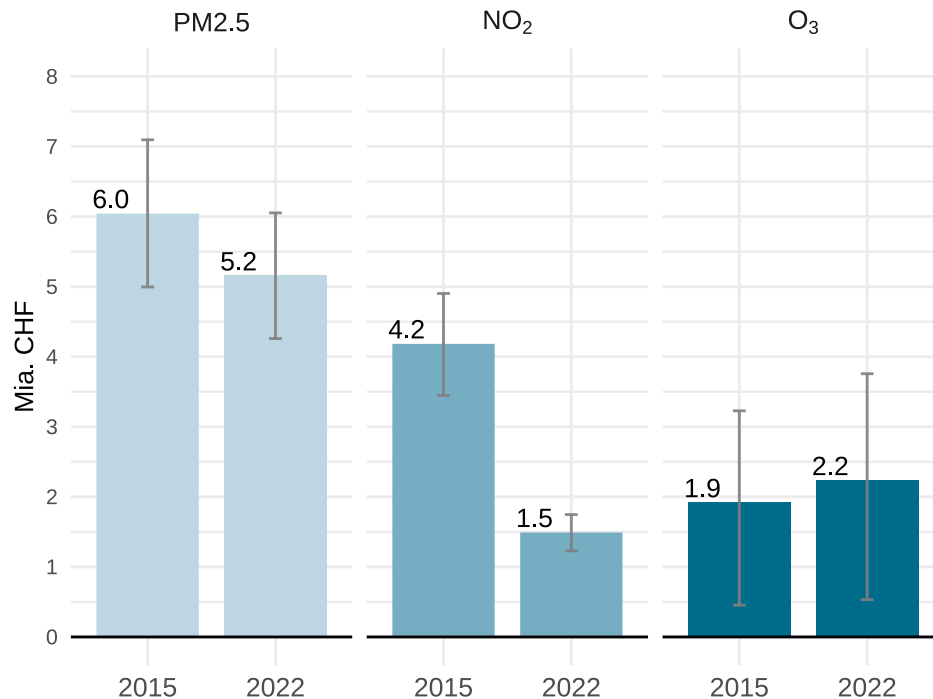


Abbildung 1: Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten für die Schadstoffe Feinstaub ($\text{PM}_{2.5}$), Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022. Der untere und der obere Whisker zeigen jeweils die berechneten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten bei der unteren und oberen Grenze der 95%-Konfidenzintervalle der Effektschätzer. Für die Immissionen von O_3 werden Mittelwerte über jeweils drei Jahre verwendet (für 2015: 2013–2015, für 2022: 2020–2022).

Die ausgewiesenen Kosten setzen sich aus Behandlungskosten, Produktionsausfällen und immateriellen Kosten zusammen. Letztere bewerten Schäden, welchen keine direkten Geldflüsse zu Grunde liegen. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den Verlust der Lebensqualität durch eine Erkrankung oder dem Leid von Angehörigen bei einem frühzeitigen Todesfall. Insbesondere bei den frühzeitigen Todesfällen fallen die immateriellen Kosten mit einem Anteil von über 90 % sehr stark ins Gewicht. Es handelt sich dabei um Kosten, die nicht in Wertschöpfungs- oder Haushaltsstatistiken auftauchen, was sie jedoch nicht minder relevant macht.

An den ausgewiesenen Kosten haben jeweils luftschadstoffbedingte frühzeitige Todesfälle hohe Anteile. Besonders gilt dies für die NO_2 -bedingten Kosten. Weitere kostenrelevante Gesundheitswirkungen sind chronische Bronchitis bei Erwachsenen sowie Tage mit eingeschränkter Aktivität.

Nutzen der Verbesserung der Luftqualität

Der durch die Verbesserung der Luftqualität bedingte Rückgang der Kosten der Luftverschmutzung stiftet Nutzen. Dieser kann beziffert werden, indem berechnet wird, wie hoch

die Kosten bei gleichbleibend hohem Niveau der Schadstoffbelastung gewesen wären. Die Differenz zwischen den Kosten mit gleichbleibend hohem Belastungsniveau und mit dem tatsächlichen, sinkenden Belastungsniveau ergibt den Nutzen der Verbesserung der Luftqualität.

Die untenstehende Abbildung zeigt kombiniert die Kostenschätzungen für 2015 und 2022 (gelb), sowie die Kosten 2022 bei gleichbleibend hohen Belastungen (blau). Aus der Differenz ergeben sich jeweils die dank der Verbesserung der Luftqualität vermiedenen Gesundheitskosten, womit sich der Teil des Nutzens der Verbesserung der Luftqualität beziffern lässt.

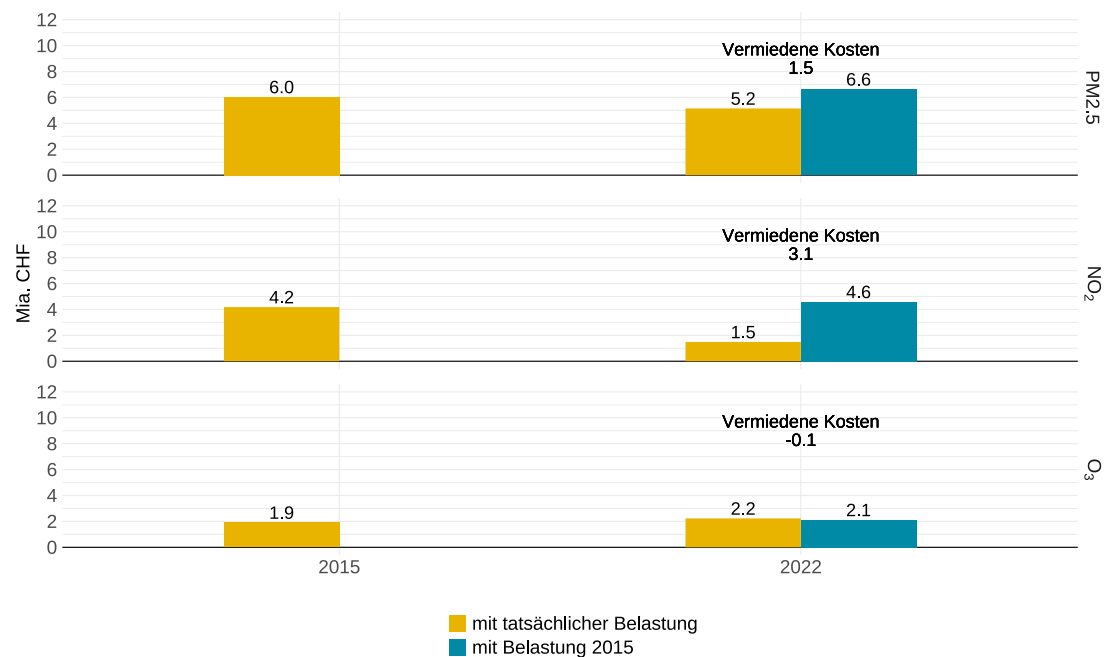


Abbildung 2: Nutzen der Verbesserung der Luftqualität. Allfällige Abweichungen zwischen den Werten für Kosten und Nutzen ergeben sich durch die Rundung auf eine Kommastelle.

Aufteilung auf Verursacherguppen

Die Zuordnung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten zu den verschiedenen Verursacherguppen werden in zwei Varianten ermittelt, welche auf folgende stark vereinfachte Annahmen basieren:

- Variante 1: PM2.5-Immissionen entstehen durch die primären PM2.5-Emissionen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen und sekundären Partikel)
- Variante 2: PM2.5-Immissionen entstehen durch die primären PM2.5-Emissionen und sekundär gebildeten PM2.5-Partikel von Schadstoffen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen)

Betrachtet man ausschliesslich die primären PM2.5-Emissionen (Variante 1), so haben an den PM2.5-bedingten Gesundheitskosten die Verursacherguppen *Haushalte* und *Dienstleistungen* (hauptsächlich Holzfeuerungen) mit 41 % und *Industrie* mit 29 % die grössten Anteile. Auch die Verursacherguppe *Verkehr* trägt mit 24 % wesentlich zu den PM2.5-

bedingten Gesundheitsschadenskosten bei. Der *Land- und Forstwirtschaft* werden mit 6 % ein geringer Anteil an den PM2.5-bedingten Gesundheitsschadenskosten zugeordnet.

Werden die sekundär gebildeten PM2.5-Partikel in die Betrachtung einbezogen (Variante 2), so vergrössert sich der Anteil der Verursachergruppe *Land- und Forstwirtschaft* auf 16 %. Natürliche Emissionen tragen auch mit 7 % dazu bei. Die Anteile der anderen Verursachergruppe werden kleiner.

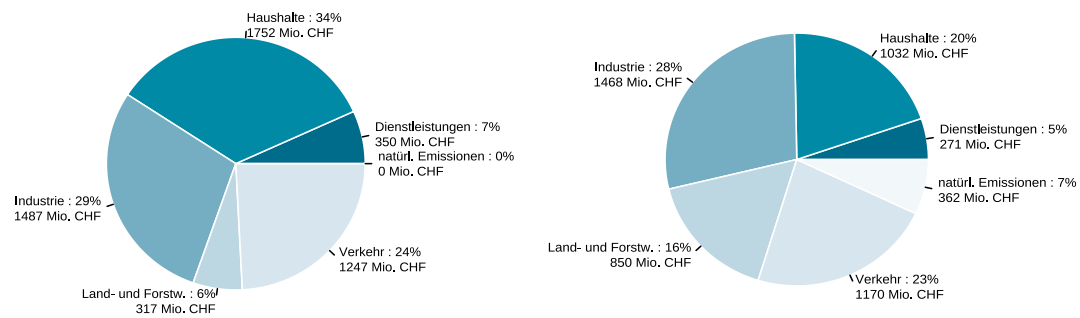


Abbildung 3: Zuordnung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten im Jahr 2022 zu den Verursachergruppen. Ergebnisse gerundet, basierend auf Emissionskataster im Jahr 2021.
links: Variante 1 (primäre Emissionen)
rechts: Variante 2 (primäre Emissionen und sekundäre Feinstaub-Partikel)

Die Zuordnung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten erfolgt auf der Annahme, dass NO₂-Immissionen durch NO_x-Emissionen entstehen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen).

Anders als beim PM2.5 verursacht bei den NO₂-bedingten Gesundheitskosten der *Verkehr* mit 56 % den grössten Anteil der Gesundheitskosten, gefolgt von der Verursachergruppe *Industrie* mit 19 %. Die Verursachergruppen *Land- und Forstwirtschaft*, *Haushalte* und *Dienstleistungen* weisen hingegen mit 11 %, 8 % und 6 % vergleichsweise kleine Anteile aus.

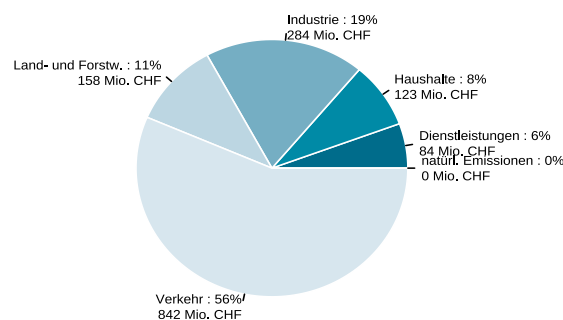


Abbildung 4: Zuordnung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten im Jahr 2022 zu den Verursachergruppen. Ergebnisse gerundet, basierend auf Emissionskataster im Jahr 2021.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Die erfolgreiche Luftreinhaltepolitik hat in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Verbesserung der Luftqualität bewirkt. Messungen von OSTLUFT zeigen aber, dass trotz der Abnahme die Schadstoffbelastung teilweise immer noch über den Immissionsgrenzwerten (IGW) der Luftreinhalteverordnung (LRV) liegt. Beim Feinstaub (PM_{2.5}) liegen die meisten Messstandorte im Bereich des Jahresmittel-Grenzwertes. Beim Stickstoffdioxid (NO₂) wurde der Jahresmittel-Grenzwert überall, ausser an stark befahrenen Strassen, eingehalten. Weiterhin grossflächige Überschreitungen der Grenz- respektive Richtwerte wird bei Ozon (O₃) sowie beim krebserregenden Russ aus Holzfeuerungen und dem Verkehr festgestellt (Details siehe www.ostluft.ch).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im September 2021 ihre neuen Luftqualitätsleitlinien (Air Quality Guidelines, AQG) vorgestellt (WHO, 2021). Diese Aktualisierung wurde vorgenommen, da in den 15 Jahren seit der Veröffentlichung der letzten Luftqualitätsleitlinien das Wissen über die Exposition der Bevölkerung und die gesundheitlichen Auswirkungen durch Luftschadstoffe erheblich zugenommen hat. Unter anderem haben neue epidemiologische Studien in Ländern mit vergleichsweise geringeren Schadstoffbelastungen gesundheitsschädliche Auswirkungen bei sehr viel niedrigeren Werten nachgewiesen. Auch in sehr tiefen Belastungsbereichen liessen sich dabei keine Wirkungsschwellen (Konzentration, unter welcher keine Schäden auftreten) nachweisen (WHO, 2021). Für die Festlegung der neuen Richtwerte hat die WHO Konzentrationen aus den verfügbaren Studien verwendet, für welche Gesundheitseffekte noch erkennbar sind (EKL, 2023).

Die in den neuen Luftqualitätsleitlinien empfohlenen Richtwerte liegen deutlich tiefer als jene aus dem Jahr 2005 und als die IGW der LRV, wie die untenstehende Tabelle 1 für die in dieser Studie betrachteten Schadstoffe zeigt.¹ Damit wird bestätigt, dass die Luftverschmutzung auch unterhalb der in der Schweiz gültigen Grenzwerte zu Gesundheitsschäden führt. Dies unterstützt auch der Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL), welche für wichtige Schadstoffe (u.a. Feinstaub PM_{2.5}, NO₂ und O₃) die Übernahme der neuen WHO-Richtwerte in die LRV empfiehlt (EKL, 2023).

¹ Für O₃ wird die neue Methodik der O₃-Sommersaison verwendet.

Schadstoff	Mittelungszeit	AQG-Richtwert 2005	AQG-Richtwert 2021	Grenzwert LRV 2013
PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Jahr	10	5	10
NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Jahr	40	10	30
O ₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Sommersaison ^a	-	60	-

^a Durchschnitt des maximalen 8-Stunden-Mittelwerts der O₃-Konzentration in den sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit der höchsten O₃-Konzentration im Sechsmonatsdurchschnitt.

Tabelle 1: Alte und neue WHO-Luftqualitätsleitlinien (AQG-Richtwert) und aktuelle Werte der Schweizer Luftreinhalteverordnung (Grenzwert Schweiz LRV) für die in dieser Studie betrachteten Schadstoffe. Quelle: Newsletter 4/2021 der Dokumentationsstelle Luft und Gesundheit (LUDOK).

Mit Blick auf die Vorgaben des Umweltschutzgesetzes (USG) sind daher weitere Verbesserungen durch lufthygienische Massnahmen notwendig. Als wichtiger Indikator für den weiteren Handlungsbedarf dient neben den Emissions-, Immissions- und Expositionsdaten auch die Schätzung der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten.

In diesem Kontext beauftragte OSTLUFT econcept AG, eine Studie über die luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet zu verfassen.

1.2 Analyserahmen und Berichtsinhalte

Perimeter und Untersuchungszeitraum

Betrachtet wird der Perimeter von OSTLUFT inklusive des gesamten Kantons Graubünden, im weiteren Kontext als OSTLUFT-Gebiet bezeichnet. Das Gebiet umfasst somit die Kantone Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden, Glarus, Graubünden, Schaffhausen, St. Gallen, Thurgau und Zürich sowie das Fürstentum Liechtenstein. Es werden flächendeckende Immissionsdaten für die Jahre 2015 und 2022 verwendet. Für das Jahr 2022 liegen die aktuellen Immissionsdaten vor, welche zugleich nicht von Massnahmen gegen Covid beeinflusst sind. Bei den Immissionsdaten für O₃ handelt es sich dabei jeweils um über drei Jahre gemittelte Werte (siehe Kapitel 2.2.4). Für die Zuordnung auf die Verursachergruppen werden Emissionsdaten aus dem Jahr 2021 verwendet.

Schadstoffe, Schadensbereiche und Expositionen

Eine Vielzahl von freigesetzten Substanzen entfaltet negative Umwelt- und Gesundheitswirkungen. Für die Ermittlung der luftschadstoffbedingten Kosten liegt der Fokus jedoch auf den zurzeit schadensmässig wichtigsten Stoffen für die Gesundheit, d.h. Feinstaub (PM2.5), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃). Betrachtet werden die Schadenswirkungen für den Schadensbereich «Gesundheit der Wohnbevölkerung».

Territorialprinzip

Für die Zuordnung der luftschadstoffbedingten Kosten zu den verschiedenen Verursachergruppen wird vereinfacht angenommen, dass Schadstoffimporte und -exporte sich ausgleichen. Demnach erfolgt die Zuordnung der Gesundheitskosten auf der Annahme, dass die Immissionen durch Emissionen entstehen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden.

Umgang mit Unsicherheiten

Die Verlässlichkeit und die Validität der für die Ermittlung der luftschadstoffbedingten Kosten verfügbaren Grundlagen sind unterschiedlich. Die vorliegende Studie stützt sich, wo möglich, auf neue wissenschaftliche Publikationen. Die Ermittlung der luftschadstoffbedingten Kosten entspricht somit dem aktuellen Kenntnisstand. Die Unsicherheiten der verwendeten Effektschätzer werden ausgewiesen.

2 Vorgehen und verwendete Grundlagendaten

2.1 Vorgehen

Das Vorgehen zur Schätzung der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten orientiert sich an der Methodik zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs des ARE (ARE, 2004) und ist in Abbildung 5 dargestellt². Die nachfolgend aufgeführten wichtigsten Schritte sind in Kapitel 2.2 ausführlich beschrieben. Erläuterungen zu den verwendeten Fachbegriffen befinden sich in Anhang A-1.

- *Bevölkerungsexpositionen CH und OSTLUFT*: Auf Basis von Schadstoffemissionen, Immissionsmodell/-karten und Bevölkerungsstatistiken werden die mittlere bevölkerungsgewichtete Belastung auf Ebene Schweiz und im OSTLUFT-Gebiet ermittelt.
- *Attributable Krankheits- und Todesfälle pro zusätzliche Belastung CH*: Die attributablen Fälle pro 10 µg/m³ zusätzlicher Belastung werden auf Basis der Effektschätzer, der Inzidenz- und Prävalenzraten und der mittleren Schadstoffbelastung in der Schweiz berechnet (Berechnungsbeispiel siehe Anhang A-5). Die Effektschätzer werden ab schadstoffspezifischen Schwellenwerten angewendet, über denen mit grosser Sicherheit von einer gesundheitsschädigenden Wirkung auszugehen ist (siehe Kapitel 2.2.1). Die Inzidenz-/Prävalenzraten basieren grösstenteils auf wissenschaftlichen Studien und wo vorhanden auf spezifischen Daten für die Schweiz (siehe Kapitel 2.2.2). Es wird davon ausgegangen, dass die so berechneten attributablen Fälle pro Belastungszunahme auch für das Fürstentum Liechtenstein gelten und verwendet werden können.
- *Gesundheitsschäden (OSTLUFT)*: Anhand der für die gesamte Schweiz gültigen attributablen Fälle pro 10 µg/m³ zusätzlicher Belastung und der Bevölkerungsexposition im OSTLUFT-Gebiet können die schadstoffbedingten Gesundheitsschäden geschätzt werden (siehe Kapitel 2.2.4).
- *Kosten der Gesundheitsschäden*: Mit Angaben zu den verlorenen Lebens- und Erwerbsjahren pro Todesfall sowie zu den durch Krankheiten und Todesfälle ausgelösten Kosten können schliesslich die luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten ermittelt werden (siehe Kapitel 2.2.5).
- *Gesundheitskosten nach Verursachergруппen*: Die ermittelten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten können auf Basis des Emissionskatasters ihren Verursachergруппen zugeordnet werden. Hierfür werden die Anteile der Verursachergруппen an den Gesamtemissionen des jeweils betrachteten Schadstoffes im betreffenden Jahr verwendet. Die ermittelten PM_{2.5}-bedingten und NO₂-bedingten Gesundheitskosten im Jahr 2022 werden auf die Verursachergруппen aufgeteilt. Nicht ermittelt werden die

² Die Studie des ARE berücksichtigt alle externen Kosten, welche durch den Verkehr verursacht werden. Die vorliegende Studie behandelt ausschliesslich luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten, aber berücksichtigt alle Schadstoffquellen. Einzelne Grundlagendaten wurden wo möglich aktualisiert (Effektschätzer, Inzidenz-/Prävalenzraten und Kostensätze).

Verursacher von O₃-bedingten Gesundheitskosten, da Ozon ein Sekundärschadstoff und der Beitrag der lokalen Emissionen verhältnismässig klein ist (siehe Kapitel 2.2.6).

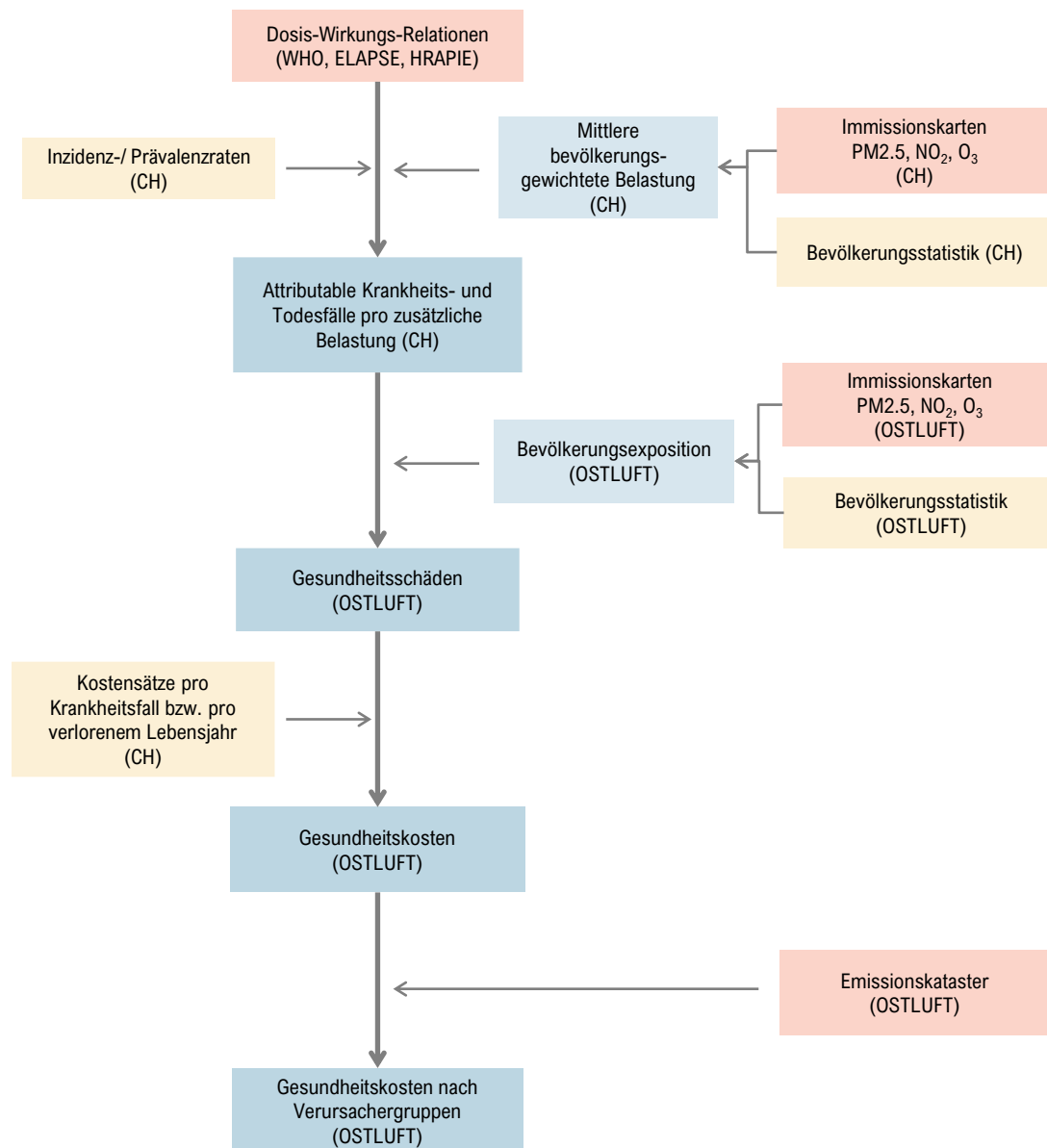


Abbildung 5: Vorgehen zur Ermittlung der Gesundheitsschadenskosten
gelb: Daten
rot: Modelle und Relationen
blau: Zwischenergebnisse und Ergebnisse

Im Weiteren werden die Kostenentwicklungen erläutert und der Nutzen der Verbesserung der Luftqualität ausgewiesen:

- *Determinanten der Kostenentwicklung:* Die Veränderungen der verschiedenen Inputparameter zwischen den beiden Erhebungsjahren (insb. bevölkerungsgewichtete Belastungen, Bevölkerung und Kostensätze) werden dargestellt. Damit wird deren Einfluss auf die Kostenentwicklung aufgezeigt.

- *Nutzen der Verbesserung der Luftqualität:* Der Nutzen der Verbesserung der Luftqualität kann beziffert werden, indem berechnet wird, wie hoch die Kosten bei gleichbleibend hohem Belastungsniveau gewesen wären. Die Differenz zwischen den Kosten mit gleichbleibend hohem Belastungsniveau und mit dem tatsächlichen, sinkenden Belastungsniveau ergibt den Nutzen der Verbesserung der Luftqualität.

2.2 Verwendete Grundlagendaten

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Quellen der verwendeten Grundlagendaten. In den folgenden Kapiteln werden diese Grundlagen weiter erläutert.

Grundlagendaten	Quellen	Erläuterungen in Kapitel:
Dosis-Wirkungs-Relationen (Effektschätzer)	<ul style="list-style-type: none"> – Mortalität PM2.5 und NO₂: Strak et al. (2021) – Mortalität O₃: WHO (2021) – Weitere Gesundheitswirkungen: WHO (2013) 	2.2.1
Inzidenz- und Prävalenzraten	<ul style="list-style-type: none"> – Inzidenz- /Prävalenzraten: ARE (2023) – Spitaleintritte: BFS (2020a) – Todesfälle: BFS (2023a) – Bevölkerungsstatistik: BFS (2023b) 	2.2.2
Mittlere bevölkerungsgewichtete Belastung	<ul style="list-style-type: none"> – PM2.5 und NO₂: Meteotest (2023a) – O₃: Meteotest (2023b) 	2.2.3
Bevölkerungsexposition	Berechnungen OSTLUFT basierend auf: <ul style="list-style-type: none"> – Immissionskarten PM2.5 und NO₂: Meteotest (2023a) – Immissionskarten O₃-Sommersaison: Berechnungen OSTLUFT (2023) – Bevölkerungsstatistik: Bundesamt für Statistik (2016; 2023c) 	2.2.4
Kostensätze pro Krankheitsfall bzw. pro verlorenem Lebensjahr	Basierend auf ARE (2023) teuerungsangepasst mittels: <ul style="list-style-type: none"> – Behandlungskosten: LIK (BFS, 2023d), Position «Gesundheitspflege» – Produktionsausfallkosten: Nominallohnindex (BFS, 2023e) – Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung eines durch Luftschadstoffe bedingten frühzeitigen Todesfalls: Landesindex der Konsumentenpreise (BFS, 2023d) 	2.2.5
Emissionskataster	<ul style="list-style-type: none"> – Emissionskataster (Meteotest, 2024) – Zusammensetzung PM2.5: Empa (2021) 	2.2.6

Tabelle 2: Verwendete Grundlagendaten.

2.2.1 Dosis-Wirkungs-Relationen (Effektschätzer) und Schwellenwerte

Das Wissen über die Gesundheitswirkungen der Luftverschmutzungen nimmt stetig zu, regelmässig werden neue Analysen und Meta-Analysen publiziert. Dosis-Wirkungs-Relationen beschreiben den Zusammenhang zwischen Schadstoffkonzentration und Gesundheitsfolgen (wie z.B. Tage mit Asthma-Symptomen, chronische Bronchitis, Mortalität). Darauf basierende Effektschätzer zeigen, mit wie viel höherer Wahrscheinlichkeit eine Gesundheitsfolge auftritt, wenn die Schadstoffkonzentration zunimmt.

Viele Forschungsarbeiten wurden allerdings in Regionen durchgeführt, in welchen deutlich höhere Belastungen als in der Schweiz und im OSTLUFT-Gebiet auftreten. Daher werden nur publizierte Studien verwendet, welche im OSTLUFT-Gebiet anwendbar sind:

- *Vergleichbare Belastungssituation*: Vorrangig und insbesondere für die stark kostenrelevante Mortalität werden Studien verwendet, welche für Gebiete mit einer nicht zu stark vom OSTLUFT-Gebiet abweichenden Medianbelastung geschätzt wurden (vgl. Tabelle 5 sowie Anhang A-6.1).
- *Grösse der Datenbasis*: Da anhand von Meta-Studien geschätzte Dosis-Wirkungs-Relationen verwendet werden, bezieht sich dieses Kriterium nicht nur auf eine hohe Anzahl an Individuen für eine Schätzung, sondern auch auf die Anzahl berücksichtigter Studien in den Metaanalysen.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die ausgewählten Dosis-Wirkungs-Relationen bzw. Effektschätzer. Für die Berechnung der attributablen Fälle durch PM_{2.5} und NO₂ werden die Effektschätzer aus der ELAPSE-Studie verwendet, für O₃ der Effektschätzer aus der neuen WHO-Luftqualitätsleitlinien. Die Effektschätzer wurden im Oktober 2023 mit dem SwissTPH diskutiert und abgestimmt. Sie entsprechen der zu diesem Zeitpunkt empfohlenen Auswahl (Stand: 18.10.2023). Die Effektschätzer für PM_{2.5} und PM₁₀ können für den jeweils anderen Schadstoff umgerechnet werden. Die Umrechnung vom Effektschätzer für PM₁₀ auf den Effektschätzer für PM_{2.5} erfolgt mit dem Divisor 0.7.³

Alle betrachteten Studien und Effektschätzer sind in Anhang A-6.1 dokumentiert.

³ Basierend auf Messungen wird für die Schweiz üblicherweise angenommen, dass der Anteil der PM_{2.5}-Belastung an der PM₁₀-Belastung bei ca. 0.7 (70 %) liegt.

Effektschätzer Feinstaub PM2.5	Einheit	Effektschätzer ^(A) pro 10 µg/m ³	Gemessener Schadstoff	Quelle / Bemerkungen
Mortalität Erwachsene	Fälle	1.260 (1.212, 1.310) ^(B)	PM2.5	Strak et al. (2021), ELAPSE- Kohorten mit einer durchschnittlichen PM2.5 Belas- tung von 15.02 µg/m ³ .
Säuglingssterblichkeit	Fälle	1.057 (1.029, 1.100)	PM10	WHO (2013)
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankun- gen	Spitalein- tritte	1.019 (0.998, 1.040)	PM2.5	WHO (2013)
Spitaleintritte wegen Herz/Kreislaferkran- kungen	Spitalein- tritte	1.009 (1.002, 1.017)	PM2.5	WHO (2013)
Inzidenz chronische Bronchitis bei Erwach- senen	Fälle	1.167 (1.057, 1.270)	PM10	WHO (2013)
Prävalenz von Bron- chitis bei Kindern	Fälle	1.114 (0.971, 1.271)	PM10	WHO (2013)
Tage mit Asth- masymptomen bei Er- wachsenen	Tage	1.041 (1.019, 1.064)	PM10	WHO (2013)
Tage mit Asth- masymptomen bei Kindern	Tage	1.040 (1.009, 1.073)	PM10	WHO (2013)
Tag mit eingeschränk- ter Aktivität	Tage	1.047 (1.042, 1.053)	PM2.5	WHO (2013)
NO₂				
Mortalität Erwachsene	Fälle	1.086 (1.070, 1.102)	NO ₂	Strak et al. (2021), ELAPSE-Kohorten Studie mit einer durchschnittlichen NO ₂ Be- lastung von 25.00 µg/m ³ .
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankun- gen	Spitalein- tritte	1.018 (1.012, 1.025)	NO ₂	WHO (2013)
O₃				
Mortalität	Fälle	1.013 (1.002, 1.023)	O ₃	WHO (2021) Basierend auf Huangfu & Atkin- son mit Einbezug neuer Studien
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankun- gen	Spitalein- tritte	1.004 (1.001, 1.008)	O ₃	WHO (2013)
Spitaleintritte wegen Herz/Kreislaferkran- kungen	Spitalein- tritte	1.009 (1.005, 1.013)	O ₃	WHO (2013)
Tage mit einge- schränkter Aktivität	Tage	1.015 (1.006, 1.025)	O ₃	WHO (2013)

Tabelle 3: Effektschätzer für PM2.5, NO₂ und O₃. Die Umrechnung vom Effektschätzer für PM10 auf den Effektschätzer für PM2.5 erfolgt, indem der Schätzer durch 0.7 dividiert wird.

(A) Siehe Dosis-Wirkungs-Relationen in Anhang A-6 und Rechenbeispiel in Anhang A-5.

(B) 95 % - Konfidenzintervalle

Die Effektschätzer sind ab derjenigen Konzentration anzuwenden, ab der von negativen Gesundheitswirkungen auszugehen ist. Jedoch konnte bis anhin auch in sehr tiefen Belastungsbereichen keine Wirkungsschwelle (Konzentration, unter welcher keine Schäden auftreten) nachgewiesen werden (WHO, 2021). Für die Festlegung der neuen Richtwerte hat die WHO Konzentrationen aus den verfügbaren Studien verwendet, für welche Gesundheitseffekte noch erkennbar sind (EKL, 2023). Dabei wurde aus den verfügbaren Studien mit tiefen Belastungen das 5. Perzentil der Belastung ausgewählt.

Für die Schätzung der Gesundheitsfolgen von Luftschadstoffen werden für PM_{2.5} sowie NO₂ die Effektschätzer ab dem WHO-Schwellenwerte verwendet (siehe Tabelle 6). Bei Ozon wird als Schwellenwert anstatt des WHO-Richtwertes von 60 µg/m³ eine Konzentration von 70 µg/m³ verwendet, da sich die Effektschätzer für die weiteren Gesundheitswirkungen (WHO (2013)) erst ab dieser Konzentration anwenden lassen.

2.2.2 Inzidenz- und Prävalenzraten

Die für die Schätzung der attributablen Fälle verwendeten Inzidenz- und Prävalenzraten⁴ stammen aus der Studie «Externe Effekte des Verkehrs 2010 - Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten» des ARE (2014). Die Raten für die Mortalität von Erwachsenen, die Säuglingssterblichkeit sowie den Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen und Herz-/Kreislaufkrankungen wurden für die vorliegende Studie basierend auf Schweizer Daten aktualisiert (BFS, 2020a; 2023a; 2023b). Dafür wurde jeweils ein Mittelwert über die Jahre 2015–2019 berechnet.⁵

	Einheit	Rate in der Bevölkerung pro 100'000 effektiv
Mortalität Erwachsene	Fälle	779
Säuglingssterblichkeit	Fälle	4
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	Spitaleintritte	1'032
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	Spitaleintritte	1'840
Inzidenz chronische Bronchitis bei Erwachsenen	Fälle	318
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern	Fälle	2'531
Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen	Tage	17'106
Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern	Tage	312'988
Tag mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen	Tage	1'547'693

Tabelle 4: Inzidenz- und Prävalenzraten für Mortalität und Gesundheitsbeeinträchtigungen 2019. Quellen: ARE (2014) und BFS (2020a; 2023a; 2023b).

⁴ Siehe Anhang A-1 für Begriffserklärungen und A-5 für Berechnungsbeispiel

⁵ Bei der Aktualisierung wurden demographische Veränderungen und damit allfällig einhergehende Veränderungen seit der Studie 2014 nicht beachtet, respektive in der Auswertung explizit berücksichtigt.

2.2.3 Mittlere Immissionsbelastungen in der Schweiz

Da Inzidenz- und Prävalenzraten auf Ebene Schweiz vorliegen, werden zur Schätzung der attributablen Fälle pro Belastungszunahme die mittleren Immissionsbelastungen in der Schweiz verwendet. Die bevölkerungsgewichtete mittlere Belastung für die Schweiz wird auf Basis der Bevölkerungsexposition ermittelt. Diese zeigt auf, wie viele Personen wie stark durch Luftschadstoffe belastet sind. Analog zu den Inzidenz-Prävalenzraten werden auch hier die Mittelwerte über die Jahre 2015–2019 verwendet.⁶

Schadstoff	Mittlere bevölkerungsgewichtete Belastung CH
Feinstaub PM2.5	9.4
Stickstoffdioxid NO ₂	18.3
Ozon O ₃ ⁷	91.0

Tabelle 5: Mittlere bevölkerungsgewichtete Belastung in der Schweiz (µg/m³).
Quelle Feinstaub PM2.5 und NO₂: Meteotest (2023a)
Quelle O₃: Meteotest (2023b)

2.2.4 Bevölkerungsexposition

Tabelle 6 zeigt die bevölkerungsgewichteten mittleren Belastungen im OSTLUFT-Gebiet in den Jahren 2015 und 2022 sowie die von der WHO empfohlenen Schwellenwerte (WHO, 2021). Die EKL empfiehlt die Übernahme der WHO-Richtwerte in die LRV (EKL, 2023).

Ozon unterliegt ausgeprägten jährlichen Schwankungen auf Grund seiner stärkeren Witterungsabhängigkeit (mehr als PM2.5 und NO₂ (BAFU, 2023)). Daher werden für die O₃-Immissionen Mittelwerte über jeweils drei Jahre verwendet (für 2015: 2013–2015; für 2022: 2020–2022), um allgemeine Aussagen über die zeitliche Entwicklung machen zu können. Die Verkehrsbeschränkungen aufgrund der Covid-Massnahmen hatten nur wenig Einfluss auf die Ozon-Belastung im Jahre 2020, da der Lockdown im März stattfand und die NO_x-Reduktion (Vorläufersubstanz von Ozon) begrenzt gross war.

⁶ Dies gilt für PM2.5 sowie NO₂, für O₃ war dies auf Grund der Datenverfügbarkeit nicht möglich. Bei dem Wert für O₃ handelt es sich um einen Mittelwert über die Jahre 2016-2021 (Meteotest, 2023b).

⁷ Die Mittelungszeit gemäss WHO (2021) bezieht sich für Ozon auf den Durchschnitt der täglichen maximalen 8-Stunden-Mittelwerte während der sechs aufeinander folgenden Monate mit der höchsten Ozonkonzentration im laufenden Sechsmonatsmittel.

Schadstoff	Bevölkerungsgewichtete Schadstoffbelastung im OSTLUFT Gebiet				Schwellenwerte Gemäss WHO (2021)
	Arithmetisches Mittel		Median		
	2015	2022	2015	2022	
PM2.5	9.5	8.5	9.8	8.7	5.0
NO ₂	19.9	13.0	19.6	12.8	10.0
O ₃	78.7	78.6	77.8	78.2	60.0

Tabelle 6: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte der Schadstoffbelastung im OSTLUFT Gebiet (ermittelt auf Basis der Bevölkerungsexposition) und Schwellenwerte gemäss WHO (2021). Alle Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 7 zeigt, welcher Anteil der Bevölkerung von Immissionen über dem LRV-Grenzwert respektive dem WHO-Richtwert betroffen ist. Es ist ersichtlich, dass im Jahr 2022 der grösste Teil der Bevölkerung (PM2.5 und NO₂) bzw. die gesamte Bevölkerung (O₃) einer Immissionsbelastung über dem WHO-Richtwert ausgesetzt ist (PM2.5: 97 %, NO₂: 88 % und O₃: 100 %).

Schadstoff	Jahr	Bevölkerung (in Tausend) mit Exposition über LRV-Grenzwert		Bevölkerung (in Tausend) mit Exposition über WHO-Richtwert		Bevölkerung Total (in Tausend)
		absolut	relativ	absolut	relativ	
PM2.5	2015	955	36 %	2'585	97 %	2'656
	2022	60	2 %	2'752	97 %	2'839
NO ₂	2015	73	3 %	2'596	98 %	2'656
	2022	2	<1 %	2'340	82 %	2'839
O ₃	2015			2'656	100 %	2'656
	2022			2'839	100 %	2'839

Tabelle 7: Anteil der Bevölkerung über dem LRV-Grenzwert und dem WHO-Richtwert im OSTLUFT ermittelt auf Basis der Bevölkerungsexposition.

Die untenstehenden Abbildungen zeigen die Bevölkerungsexposition für die drei untersuchten Luftschadstoffe für die Jahre 2015 und 2022 sowie die Grenzwerte in der LRV (grüne Linie)⁸ und die Schwellenwerte gemäss WHO (rote Linie). Die dazugehörigen Immissionskarten befinden sich in Anhang A-3 sowie die Tabellen mit der Bevölkerungsexposition in Anhang A-4.

⁸ Für O₃ kann der in der LRV festgelegte Grenzwert nicht in den Abbildungen eingezeichnet werden, da sich dieser nicht auf die für die Berechnung der Gesundheitskosten verwendete Mittelungszeit («peak season») bezieht.

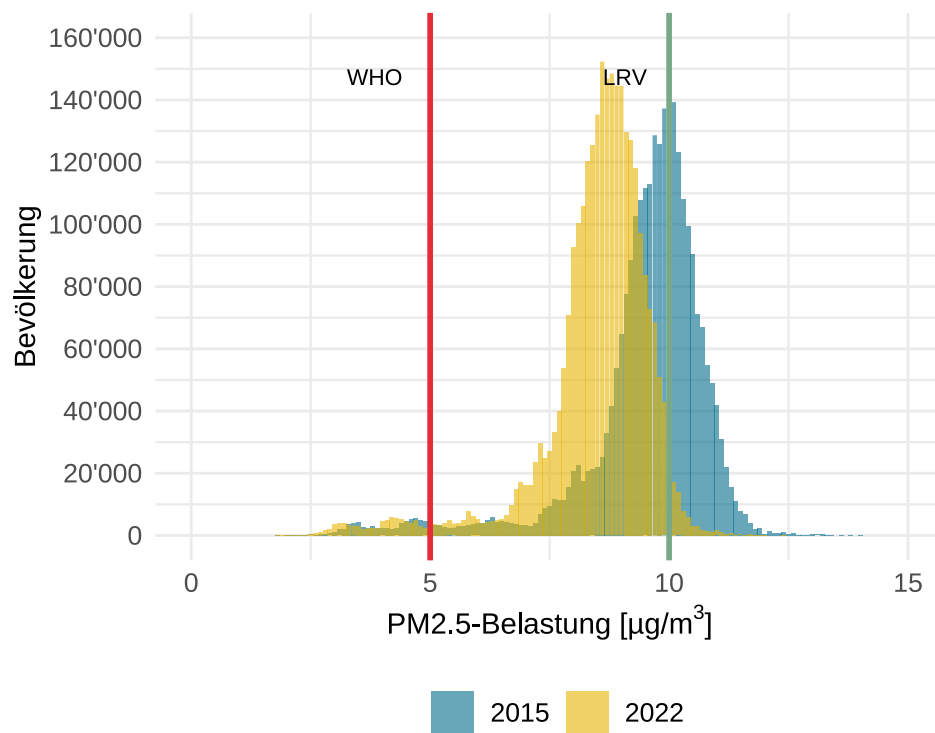


Abbildung 6: Bevölkerungsexposition im OSTLUFT-Gebiet mit PM2.5. Die rote Linie zeigt den Schwellenwert nach WHO 2021. Die grüne Linie zeigt den Grenzwert in der LRV.

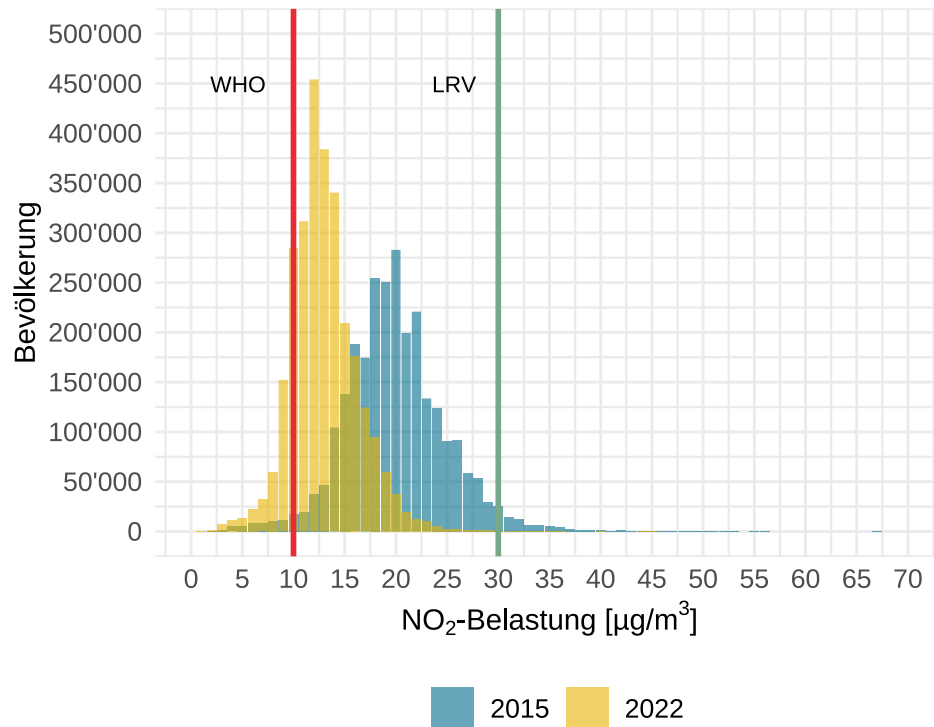


Abbildung 7: Bevölkerungsexposition im OSTLUFT-Gebiet mit NO₂. Die rote Linie zeigt den Schwellenwert nach WHO 2021. Die grüne Linie zeigt den Grenzwert in der LRV

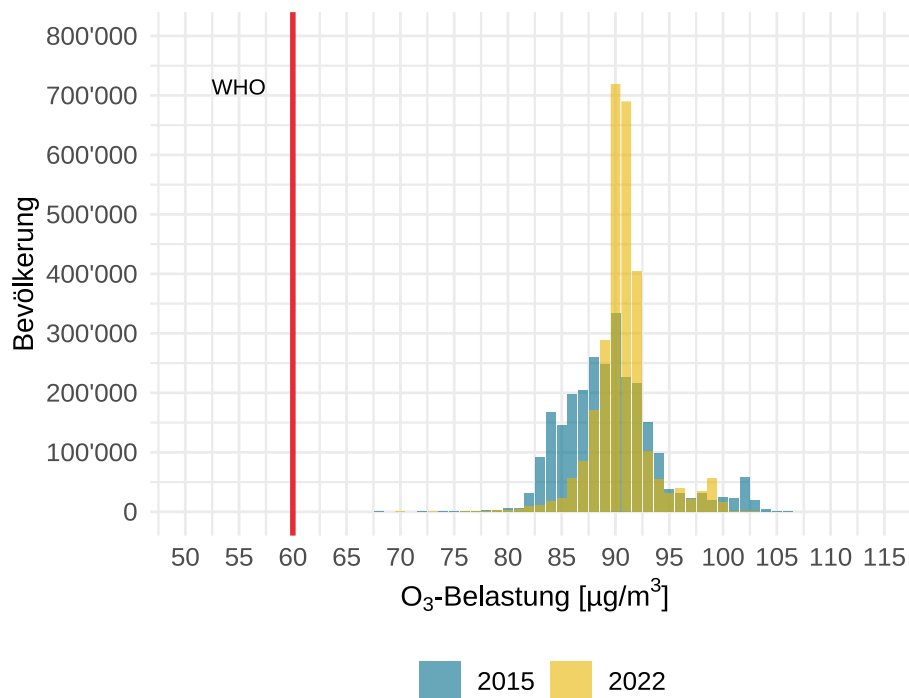


Abbildung 8: Bevölkerungsexposition im OSTLUFT-Gebiet mit O₃. Die rote Linie zeigt den Schwellenwert nach WHO 2021.

2.2.5 Kostensätze

Es werden die Kostensätze aus ARE (2021) und ARE (2023) verwendet (siehe Tabelle 8). Die Werte des Jahres 2022 entsprechen den teuerungsangepassten Werten des Jahres 2020.⁹ Folglich werden die luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten zu laufenden Preisen bewertet.

Die Kostensätze setzen sich aus den Behandlungskosten, den Produktionsausfällen sowie den immateriellen Kosten zusammen. Letztere bewerten Schäden, welchen keine direkten Geldflüsse zu Grunde liegen. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den Verlust der Lebensqualität durch eine Erkrankung oder das Leid von Angehörigen bei einem frühzeitigen Todesfall.

⁹ Die medizinischen Behandlungskosten wurden mit dem LIK-Gesundheitspflege, die Produktionsausfallkosten mit dem Nominallohnindex und die immateriellen Kosten mit dem LIK-Total angepasst.

Kostensätze für Krankheits- und Todesfälle [CHF]			
	pro	2015	2022
Mortalität	Todesfall	2'516'521	2'582'450
<i>Verlorene Lebenszeit (immaterielle Kosten)¹⁰</i>	<i>Todesfall</i>	<i>2'394'509</i>	<i>2'457'150</i>
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>Todesfall</i>	<i>117'584</i>	<i>120'450</i>
<i>Wiederbesetzungskosten (Durchschnitt m/f)</i>	<i>Todesfall</i>	<i>4'429</i>	<i>4'851</i>
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	Fall	16'453	18'504
Spitaleintritt wegen Herz-Kreislaufkrankungen	Fall	27'615	31'067
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (ab 18 Jahre)	Fall	122'713	130'504
Akute Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	Fall	386	405
Tag mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen (ab 18 Jahre)	Tag	184	192
Tag mit Asthmasymptomen bei Kindern (5-17 Jahre)	Tag	94	97
Tag mit eingeschränkter Aktivität (ab 18 Jahre)	Tag	495	518

Tabelle 8: Kostensätze für Krankheits- und Todesfälle in CHF (kursiv: Elemente der Mortalität).
Quellen: ARE (2014; 2021; 2023) und (BFS, 2020a)

¹⁰ Begriffserklärung zu den Immateriellen Kosten siehe Anhang A-1.

2.2.6 Emissionskataster

Angaben über Emissionen werden für die Erläuterungen zur Entwicklung der bestimmenden Grössen (Kapitel 3.5) und für die Zuordnung zu den Verursachergruppen (Kapitel 5) verwendet.

Der Emissionskataster für das OSTLUFT-Gebiet umfasst die wichtigsten Luftschadstoffe und liegt für die Zeitstände 2015, 2020, 2021 und 2030 vor (Meteotest, 2024).

Für die Zuordnung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten zu den Verursachergruppen wurde eine Studie der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt verwendet, welche zeigt, dass neben primären PM2.5-Emissionen auch andere Schadstoffe als sekundäre Partikel zu den PM2.5-Immissionen beitragen (Empa, 2021).

3 Ergebnisse für die einzelnen Schadstoffe

Die folgenden Kapitel zeigen die mit den oben beschriebenen Berechnungsgrundlagen ermittelten attributablen Fälle und Kosten für PM_{2.5}, NO₂ und O₃ für die Jahre 2015 und 2022.

3.1 Übersicht

Abbildung 9 zeigt die Kosten für die verschiedenen Schadstoffe für die Jahre 2015 und 2022. Eine genauere Aufteilung der Kosten auf einzelne Gesundheitswirkungen pro Schadstoff findet sich in den nachfolgenden Unterkapiteln. Die Tabelle dazu findet sich im Anhang A-6.4.

Die Gesundheitskosten für die Jahre 2015 und 2022 betragen verursacht durch PM_{2.5} 6 Mia. CHF bzw. 5.2 Mia. CHF, durch NO₂ 4.2 Mia. CHF bzw. 1.5 Mia. CHF und durch O₃ 1.9 Mia. CHF bzw. 2.2 Mia. CHF. Der Unsicherheitsbereich ist in Abbildung 9 grafisch dargestellt (untere und obere Grenzen der 95%-Konfidenzintervalle der Effektschätzer).

Da die Gesundheitswirkungen der betrachteten Schadstoffe in den für diese Studie verwendeten Effektschätzer nicht klar abzugrenzen sind, dürfen die Ergebnisse der einzelnen Schadstoffe nicht addiert werden. Würden die Gesundheitskosten der Luftschadstoffe addiert, würde es zu einer Überschätzung kommen. So wäre bei der Addition von durch PM_{2.5} und NO₂-bedingten Gesundheitskosten nach aktuellem Kenntnissstand von Doppelzählungen von rund einem Drittel auszugehen.¹¹

An den ausgewiesenen Kosten haben jeweils luftschadstoffbedingte frühzeitige Todesfälle hohe Anteile. Weitere kostenrelevante Gesundheitswirkungen sind chronische Bronchitis bei Erwachsenen sowie Tage mit eingeschränkter Aktivität. Die Kosten setzen sich aus Behandlungskosten, Produktionsausfällen sowie immateriellen Kosten zusammen. Letztere bewerten Schäden, welchen keine direkten Geldflüsse zu Grunde liegen. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den Verlust der Lebensqualität durch eine Erkrankung oder das Leid von Angehörigen bei einem frühzeitigen Todesfall.

¹¹ Einschätzung Meltem Kutlar und Ron Kappeler (Swiss Tropical and Public Health Institute, Dokumentationsstelle Luft und Gesundheit LUDOK) basierend auf der aktuell zur Verfügung stehenden Literatur.

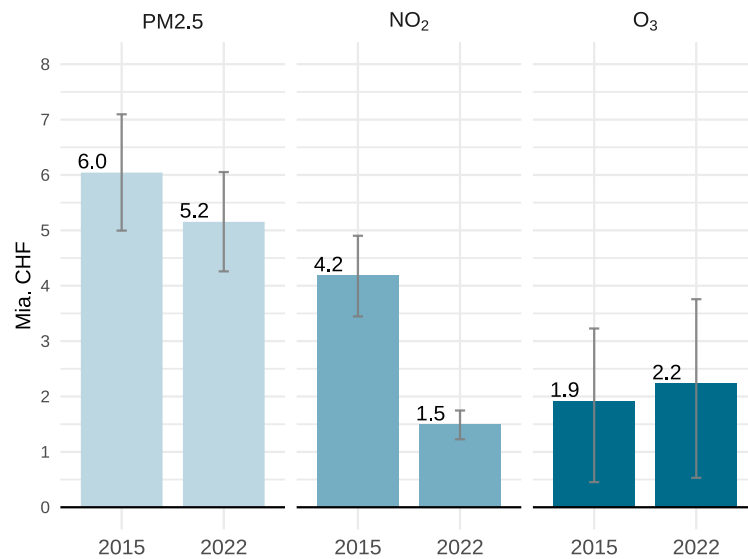


Abbildung 9: Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten für die Schadstoffe Feinstaub (PM2.5), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022. Der untere und der obere Whisker zeigen jeweils die berechneten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten bei der unteren und oberen Grenze der 95%-Konfidenzintervalle der Effektschätzer. Für die Immissionen von O₃ werden Mittelwerte über jeweils drei Jahre verwendet (für 2015: 2013–2015, für 2022: 2020–2022).

3.2 Feinstaub PM2.5

Tabelle 9 zeigt die für PM2.5 geschätzten Gesundheitswirkungen in den Jahren 2015 und 2022. Bedingt durch das Bevölkerungswachstum sind die Fallzahlen bei allen Gesundheitswirkungen zwischen 2015 und 2022 weniger zurückgegangen, als es die Immissionsreduktion erwarten lässt.

Geschätzte Anzahl Krankheits- und Todesfälle aufgrund der PM2.5-Belastung			
	Einheit	2015	2022
Mortalität Erwachsene	Fälle	2'190	1'817
Säuglingssterblichkeit	Fälle	3	2
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	Spitaleintritte	234	194
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	Spitaleintritte	201	167
Inzidenz chronische Bronchitis bei Erwachsenen	Fälle	596	495
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern	Fälle	3'317	2'751
Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen	Tage	8'382	6'953
Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern	Tage	148'175	122'907
Tag mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen	Tage	858'336	711'967

Tabelle 9: Ergebnisse attributable Fälle im OSTLUFT Gebiet durch die PM2.5-Belastung in den Jahren 2015 und 2022.

Die Bewertung der Gesundheitswirkungen mit den in Kapitel 2.2.4 aufgeführten Kostensätzen führt zu den in Abbildung 10 und Tabelle 10 dargestellten Kosten.

Am meisten Kosten verursachen frühzeitige Todesfälle. An zweiter und dritter Stelle folgen Tage mit eingeschränkter Aktivität und chronischer Bronchitis bei Erwachsenen. Die Kosten der übrigen Gesundheitsfolgen fallen gering aus, so dass sie in Abbildung 10 kaum zu erkennen sind. Bei Todesfällen und chronischer Bronchitis fallen die immateriellen Kosten sehr stark ins Gewicht (über 90 % der Kosten pro Fall). Bei den Tagen mit eingeschränkter Aktivität verursacht die tiefere wirtschaftliche Produktivität hohe Kostenanteile.

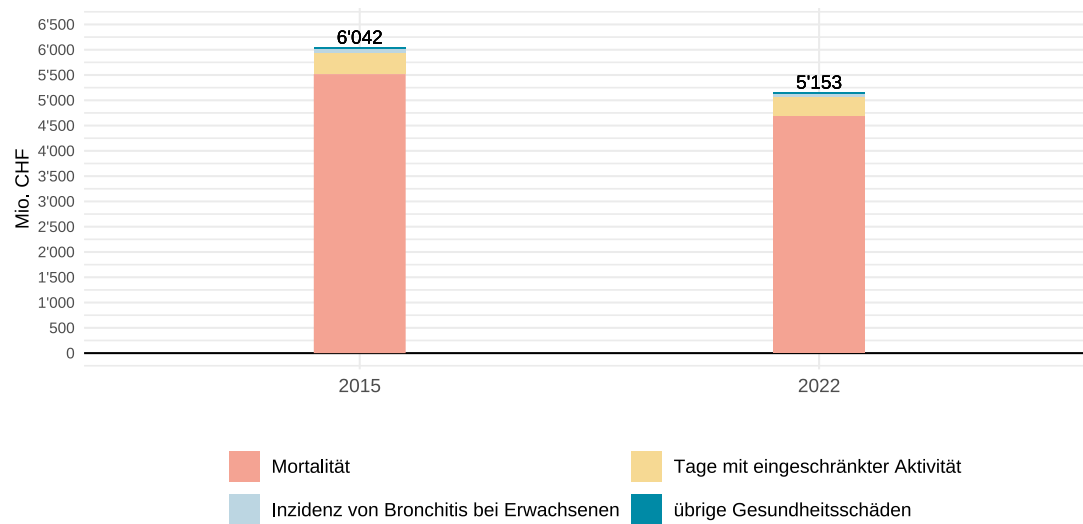


Abbildung 10: Schätzung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF.

Luftschadstoffbedingte Gesundheitsschadenskosten PM2.5 (Mio. CHF)		
	2015	2022
Mortalität	5'517.8	4'696.8
<i>Verlorene Lebenszeit</i>	<i>5'250.3</i>	<i>4'468.9</i>
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>257.8</i>	<i>219.1</i>
<i>Wiederbesetzungskosten</i>	<i>9.7</i>	<i>8.8</i>
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	3.9	3.6
Spitaleintritt wegen Herz-Kreislauf-erkrankungen	5.5	5.2
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (ab 18 Jahre)	73.2	64.5
Akute Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	1.3	1.1
Tag mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen (ab 18 Jahre)	1.5	1.3
Tag mit Asthmasymptomen bei Kindern (5-17 Jahre)	13.9	11.9
Tag mit eingeschränkter Aktivität (ab 18 Jahre)	425.3	368.8
Total (gerundet)	6'042	5'153

Tabelle 10: Schätzung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF (kursiv: Elemente der Mortalität).

3.3 Stickstoffdioxid NO₂

Im Gegensatz zu den Schätzungen der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten mit PM2.5 werden bei NO₂ ausschliesslich Effektschätzer für die zwei Gesundheitsfolgen frühzeitige Todesfälle bei Erwachsenen und Spitalerkrankungen wegen Atemwegserkrankungen verwendet. Tabelle 11 zeigt die geschätzten luftschadstoffbedingten frühzeitigen Todesfälle und Spitalerkrankungen für das Jahr 2015 und 2022.

Geschätzte Anzahl Krankheits- und Todesfälle aufgrund der NO₂-Belastung			
	Einheit	2015	2022
Mortalität Erwachsene	Fälle	1'659	576
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	Spitaleintritte	485	168

Tabelle 11: Ergebnisse attributable Fälle im OSTLUFT Gebiet durch die NO₂-Belastung in den Jahren 2015 und 2022.

Die Multiplikation der Fälle und Spitalerkrankungen mit den entsprechenden Kostensätzen (vgl. Kapitel 2.2.5) ergibt die in Abbildung 12 und Tabelle 12 dargestellten Kosten. Während beim Feinstaub mehrere Gesundheitsfolgen in relevantem Mass zur Kostenschätzung beitragen, fallen beim NO₂ ausschliesslich die frühzeitigen Todesfälle ins Gewicht. Deren Kosten bestehen hauptsächlich (zu über 90 %) aus immateriellen Kosten.

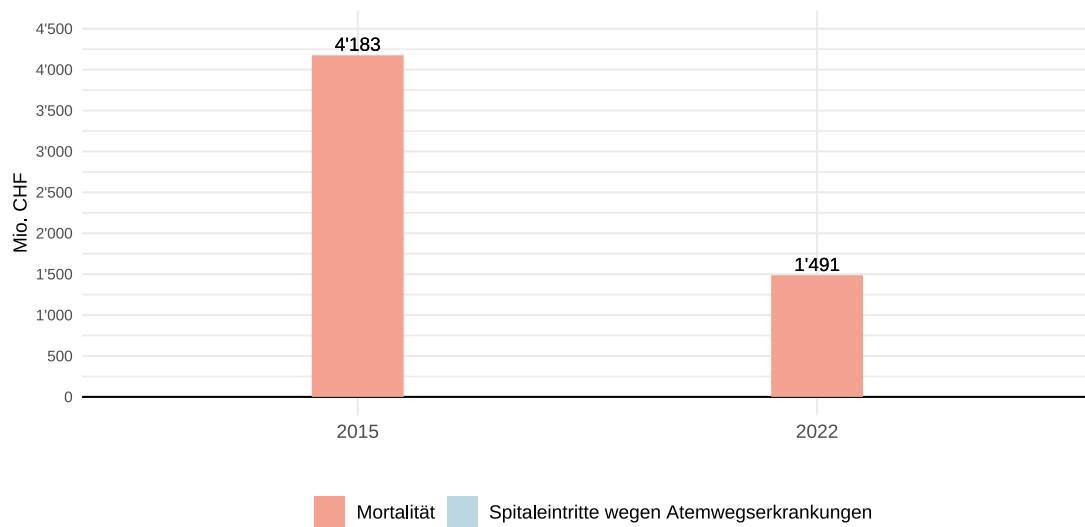


Abbildung 11: Schätzung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF.

Luftschadstoffbedingte Gesundheitsschadenskosten NO ₂ [Mio. CHF]		
	2015	2022
Mortalität Erwachsene	4'174.9	1'487.6
<i>Verlorene Lebenszeit</i>	<i>3'972.5</i>	<i>1'415.4</i>
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>195.1</i>	<i>69.4</i>
<i>Wiederbesetzungskosten</i>	<i>7.3</i>	<i>2.8</i>
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	8.0	3.1
Total (gerundet)	4'183	1'491

Tabelle 12: Schätzung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF (kursiv: Elemente der Mortalität).

3.4 Ozon O₃

Bei Ozon werden folgende vier Gesundheitsfolgen betrachtet: frühzeitige Todesfälle bei Erwachsenen, Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen, Spitaleintritte wegen Herz-Kreislaufkrankungen und Tage mit eingeschränkter Aktivität.

Tabelle 13 zeigt die geschätzten luftschadstoffbedingten frühzeitigen Todesfälle, Spitaleintritte und Tage mit eingeschränkter Aktivität für das Jahr 2015 und 2022¹².

Geschätzte Anzahl Krankheits- und Todesfälle aufgrund der O₃-Belastung			
	Einheit	2015	2022
Mortalität Erwachsene	Fälle	514	579
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	Spitaleintritte	234	264
Spitaleintritt wegen Herz-Kreislaufkrankungen	Spitaleintritte	838	944
Tag mit eingeschränkter Aktivität	Tage	1'202'921	1'355'265

Tabelle 13: Ergebnisse attributable Fälle im OSTLUFT Gebiet durch die O₃-Belastung in den Jahren 2015 und 2022.

Die Multiplikation dieser Fälle mit den entsprechenden Kostensätzen (vgl. Kapitel 2.2.4) ergibt die in Abbildung 12 und Tabelle 14 dargestellten Kosten. Es gilt zu beachten, dass die O₃-bedingten Gesundheitskosten nicht ab dem WHO-Richtwert von 60 µg/m³, sondern ab dem Schwellenwert von 70 µg/m³ gerechnet wurde. Die Effektschätzer für die weiteren Gesundheitswirkungen aus WHO (2013) können nur bis zu diesem Wert angewendet werden.

Wie beim Feinstaub und NO₂ entsteht der grösste Teil der durch O₃-bedingten Gesundheitskosten durch die frühzeitigen Todesfälle, deren Kosten überwiegend (über 90 %) aus immateriellen Kosten bestehen. Verglichen zum Feinstaub fallen beim O₃ die Tage mit eingeschränkter Aktivität viel stärker ins Gewicht und machen fast einem Drittel der Gesundheitskosten aus.

¹² Basierend auf der mittleren Belastung von 2013 bis 2015 (für 2015) sowie 2020-2022 (für 2022).

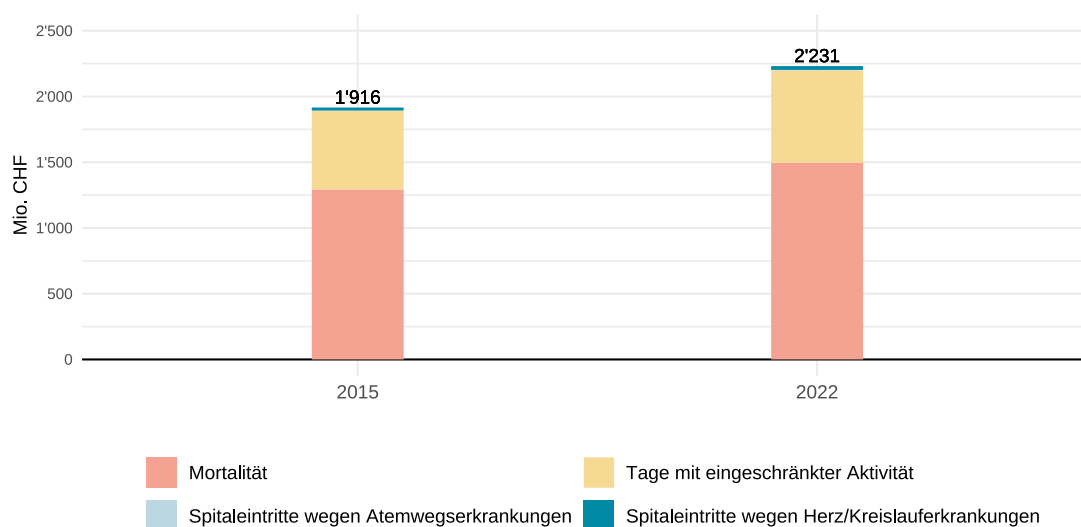


Abbildung 12: Schätzung der O₃-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF.

Luftschadstoffbedingte Gesundheitsschadenskosten O ₃ [Mio. CHF]		
	2015	2022
Mortalität Erwachsene	1'293.2	1'495.1
<i>Verlorene Lebenszeit</i>	<i>1'230.5</i>	<i>1'422.6</i>
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>60.4</i>	<i>69.7</i>
<i>Wiederbesetzungskosten</i>	<i>2.3</i>	<i>2.8</i>
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen	3.9	4.9
Spitaleintritt wegen Herz-Kreislaufferkrankungen (ab 18 Jahre)	23.1	29.3
Tag mit eingeschränkter Aktivität (alle)	596.0	702.0
Total (gerundet)	1'916	2'231

Tabelle 14: Schätzung der O₃-bedingten Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet für die Jahre 2015 und 2022 in Mio. CHF (kursiv: Elemente der Mortalität)

3.5 Entwicklung der bestimmenden Grössen (Determinanten)

Die Berechnungsergebnisse zeigen zwischen 2015 und 2022 eine Abnahme der durch PM2.5 und NO₂ bedingten Gesundheitskosten (Kapitel 3.2, 3.3). Bei O₃ gab es eine leichte Zunahme (Kapitel 3.4). Die für die Berechnung massgebenden Determinanten sind in Abbildung 13 dargestellt und legen die unterschiedliche Veränderung der bestimmenden Grössen dar.

3.5.1 Rückblick

Die mittlere bevölkerungsgewichtete Schadstoffbelastung im OSTLUFT-Gebiet nimmt von 2015 und 2022 bei PM2.5 und NO₂ um 11 % bzw. 35 % ab, hingegen bleibt sie bei O₃ beinahe gleich gross (Zunahme 1 %). Obwohl die Bevölkerung um 7 % und die Kostensätze zwischen 2 % und 5 % zunehmen, resultieren dank der grossen Abnahme der PM2.5- und NO₂-Belastung tiefere Gesundheitskosten. Bei O₃ führen die Bevölkerungszunahme und höherer Kostensätze hingegen zu höheren Gesundheitskosten.

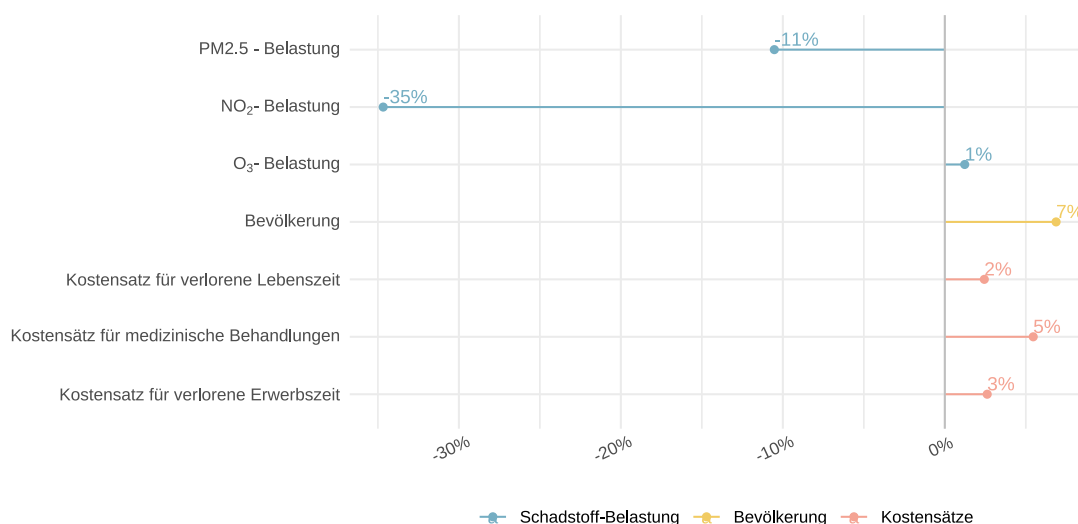


Abbildung 13: Determinanten der Kostenentwicklung. Veränderung zwischen 2022 und 2015.

PM2.5- und NO₂-Immissionen werden hauptsächlich durch PM2.5- und NO_x-Emissionen aus dem Strassenverkehr, der Industrie sowie von Feuerungen in Haushalten und im Dienstleistungssektor verursacht.

Die grösste Veränderung im Zeitraum 2015 bis 2021 (Stand Emissionskataster) ist bei den NO_x-Emissionen zu beobachten (siehe Anhang A-2). Die Reduktion von 29 % konnte hauptsächlich dank Massnahmen im motorisierten Strassenverkehr (verbesserte Abgasreinigung aufgrund verschärfter Abgasgrenzwerte und Kontrollen) erzielt werden. Aber auch Massnahmen bei Feuerungen (verbesserte Feuerungstechnologie), bei grösseren Industrieanlagen (Abluftreinigungsanlagen mit DeNO_x-Systemen) und bei Baumaschinen (verbesserte Motorentechnologie) haben zur Verbesserung beigetragen.

Bei den primären PM_{2.5}-Emissionen wird von 2015 bis 2021 eine Reduktion um 16 % erreicht, dank Massnahmen im Strassenverkehr und bei Maschinen und Geräten (Partikelfilter) sowie bei den Holzfeuerungen (Abluftreinigungsanlagen und verbesserte Feuerungstechnologien aufgrund verschärfter Abgasgrenzwerte sowie optimierter Betrieb dank mehr Kontrollen).

NO_x und VOC (flüchtige organische Verbindungen) tragen als Vorläufersubstanzen zur Bildung von O₃ bei, wobei zu viel NO_x die Bildung wiederum hemmen kann. Insbesondere die weiterhin hohen VOC-Emissionen führen, trotz des Rückgangs der NO_x-Emissionsspitzen, zu einer anhaltend hohen O₃-Belastung.

3.5.2 Ausblick

Der Trend zur besseren Luftqualität wird sich durch technologische Entwicklungen und der Umsetzung von Luftreinemassnahmen weiter fortsetzen. Dadurch wird die mittlere bevölkerungsgewichtete Schadstoffbelastung im OSTLUFT-Gebiet weiter abnehmen. Insbesondere die NO₂-Belastungen werden dank emissionsmindernder Technologien im Verkehr weiterhin deutlich abnehmen (bessere Abgasreinigung dank noch strengeren Abgasvorschriften und ihren Kontrollen, Umstieg auf Elektromobilität). Die Abnahmen von PM_{2.5} und O₃ sind vergleichsweise geringer. Das Verminderungspotenzial von PM_{2.5} im Verkehr und den Holzfeuerungen wird mit den heute ergriffenen Massnahmen weitgehend ausgeschöpft. Die O₃-Belastung nimmt trotz Abnahme der VOC- und NO_x-Emissionen im Inland aufgrund der Importe von Vorläufersubstanzen und O₃ aus dem benachbarten Ausland nur leicht ab.

Hingegen nimmt die von den Schadstoffbelastungen betroffenen Bevölkerung stetig zu. Das Bundesamt für Statistik rechnet bis 2030 mit einer Bevölkerungszunahme von rund 9 % (Referenzszenario, Basis 2020 (BFS, 2020b)). Für die Entwicklung der Kostensätze wird keine Annahme getroffen, weil die zukünftigen Preise von unterschiedlichen Faktoren abhängen (u.a. Inflation, technischer Fortschritt, Produktivität). Unter der Annahme von konstanten Kostensätzen kann davon ausgegangen werden, dass die NO₂ bedingten Gesundheitskosten aufgrund der deutlichen Abnahme von NO₂ trotz Bevölkerungszunahme weiter abnehmen werden. Aufgrund des vergleichsweise stärkeren Bevölkerungswachstums können die geringen Abnahmen bei PM_{2.5} und O₃ gegenüber heute zu einem Anstieg der Gesundheitskosten führen.

4 Nutzen der Verbesserung der Luftqualität

Der durch die Verbesserung der Luftqualität bedingte Rückgang der Kosten der Luftverschmutzung stiftet Nutzen. Dieser kann beziffert werden, indem berechnet wird, wie hoch die Kosten bei gleichbleibend hohem Niveau der Schadstoffbelastung gewesen wären. Die Differenz zwischen den Kosten mit gleichbleibend hohem Belastungsniveau und mit dem tatsächlichen, sinkenden Belastungsniveau ergibt den Nutzen der Verbesserung der Luftqualität. In beiden Fällen wird der Kostensatz für das Jahr 2022 angewendet.

Die untenstehende Abbildung zeigt kombiniert die Kostenschätzungen für 2015 und 2022 (gelb), sowie die Kosten 2022 bei gleichbleibend hohen Belastungen (blau). Dabei wurden die Kostensätze des jeweiligen Betrachtungsjahres verwendet. Aus der Differenz ergeben sich jeweils die dank der Verbesserung der Luftqualität vermiedenen Gesundheitskosten. Damit lässt sich der Teil des Nutzens der Verbesserung der Luftqualität beziffern, welcher auf vermiedene Gesundheitsschäden zurückgeht.

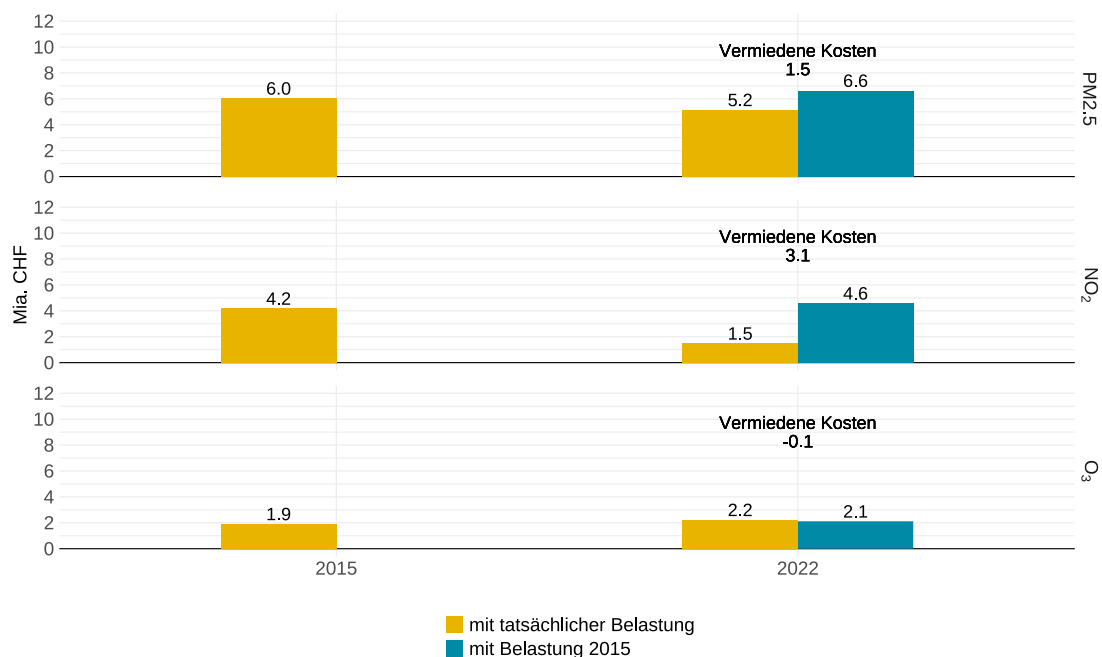


Abbildung 14: Nutzen der Verbesserung der Luftqualität. Allfällige Abweichungen zwischen den Werten für Kosten und Nutzen ergeben sich durch die Rundung auf eine Kommastelle.

5 Zuordnung zu Verursachergruppen

Die ermittelten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten PM_{2.5} und NO₂ werden den Verursachergruppen auf Basis der im OSTLUFT-Gebiet emittierten Schadstoffen im Jahr 2021 zugeordnet (Angaben zum Emissionskataster siehe Anhang A-2). Dabei wird vereinfacht angenommen, dass Schadstoffimporte und -exporte sich ausgleichen. Demnach werden alle Immissionen innerhalb des OSTLUFT-Gebiets den Emissionen innerhalb desselben Gebietes zugerechnet.

5.1 Feinstaub PM_{2.5}

Die Zuordnung der PM_{2.5}-bedingten Gesundheitskosten zu den verschiedenen Verursachergruppen werden in zwei Varianten ermittelt, welche auf folgenden stark vereinfachten Annahmen basieren:

- Variante 1: PM_{2.5}-Immissionen entstehen durch die primären PM_{2.5}-Emissionen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen und sekundären Partikel)
- Variante 2: PM_{2.5}-Immissionen entstehen durch die primären PM_{2.5}-Emissionen und sekundär gebildeten PM_{2.5}-Partikel aus Vorläufersubstanzen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen, Herleitung siehe Anhang A-2).

Betrachtet man ausschliesslich die primären PM_{2.5}-Emissionen (Variante 1), so haben an den PM_{2.5}-bedingten Gesundheitskosten die Verursachergruppen *Haushalte* und *Dienstleistungen* (hauptsächlich Holzfeuerungen) mit 41 % und *Industrie* mit 29 % die grössten Anteile. Auch die Verursachergruppe *Verkehr* trägt mit 24 % wesentlich zu den PM_{2.5}-bedingten Gesundheitsschadenskosten bei. Der *Land- und Forstwirtschaft* werden mit 6 % ein geringer Anteil an den PM_{2.5}-bedingten Gesundheitsschadenskosten zugeordnet.

Werden die sekundär gebildeten PM_{2.5}-Partikel in die Betrachtung einbezogen (Variante 2), so vergrössert sich der Anteil der Verursachergruppe *Land- und Forstwirtschaft* auf 16 %. Natürliche Emissionen tragen auch mit 7 % dazu bei. Die Anteile der anderen Verursachergruppe werden kleiner.

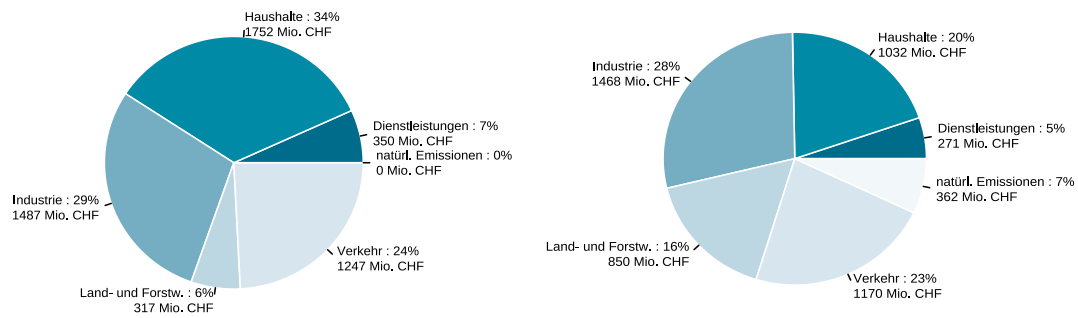


Abbildung 15: Zuordnung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten im Jahr 2022 zu den Verursachergruppen. Ergebnisse gerundet, basierend auf Emissionskataster im Jahr 2021.
links: Variante 1 (primäre Emissionen)
rechts: Variante 2 (primäre Emissionen und sekundäre Feinstaub-Partikel)

5.2 Stickstoffdioxid NO₂

Die Zuordnung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten erfolgt auf der Annahme, dass NO₂-Immissionen durch NO_x-Emissionen entstehen, welche innerhalb des OSTLUFT-Gebiets emittiert werden (keine Berücksichtigung von Importen).

Anders als beim PM2.5 verursacht bei den NO₂-bedingten Gesundheitskosten der *Verkehr* mit 56 % den grössten Anteil der Gesundheitskosten, gefolgt von der Verursachergruppe *Industrie* mit 19 %. Die Verursachergruppen *Land- und Forstwirtschaft*, *Haushalte* und *Dienstleistungen* weisen hingegen mit 11 %, 8 % und 6 % vergleichsweise kleine Anteile aus.

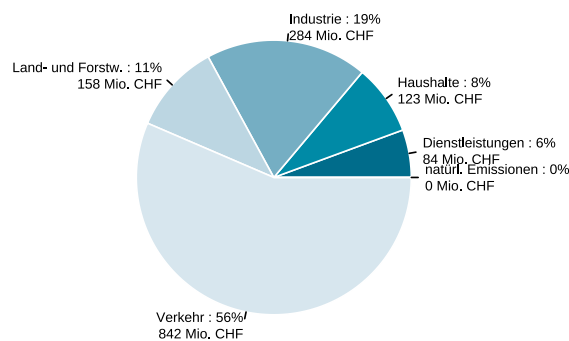


Abbildung 16: Zuordnung der NO₂-bedingten Gesundheitskosten im Jahr 2022 zu den Verursachergruppen. Ergebnisse gerundet, basierend auf Emissionskataster im Jahr 2021.

Literaturverzeichnis

- ARE (2004): *Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000*. Bundesamt für Raumentwicklung. Verfügbar unter: https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/verkehr/publikationen/externe-gesundheitskosten-durch-verkehrsbedingte-luftverschmutzung-in-der-schweiz-aktualisierung-2000.pdf.download.pdf/externe-gesundheitskosten-durch-verkehrsbedingte-luftverschmutzung_de.pdf .
- ARE (2014): *Externe Effekte des Verkehrs 2010: Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten*. Bundesamt für Raumentwicklung. Verfügbar unter: https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/verkehr/publikationen/externe_effekte_desverkehrs2010.pdf.download.pdf/externe_effekte_desverkehrs2010.pdf .
- ARE (2021): *Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz - Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2018 - Grundlagen für die Berechnungen*. Die Grundlagen wurden auf Anfrage durch das ARE zur Verfügung gestellt.
- ARE (2023): *Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz - Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2020 - Grundlagen für die Berechnungen*. Die Grundlagen wurden auf Anfrage durch das ARE zur Verfügung gestellt, Stand August 2023.
- BAFU (2023): *Luftqualität 2022*. Bundesamt für Umwelt. Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/nabel-luftqualitaet.html> .
- BFS (2016): *Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP), Geodaten 2015*. Bundesamt für Statistik. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/gebäudewohnungen-haushalte-personen/bevoelkerung-haushalte-ab-2010.html> .
- BFS (2020a): *Medizinische Statistik der Krankenhäuser: Anzahl Fälle und durchschnittliche Aufenthaltsdauer (DAD) nach Altersklasse und Diagnosecode*. su-d-14.04.01.02-ICD. Verfügbar unter: [https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.html?dyn_publishingyear=2024&dyn_title=Medizinische%20Statistik%20der%20Krankenh%C3%A4user%3AAanzahl%20F%C3%A4lle%20und%20durchschnittliche%20Aufenthaltsdauer%20\(DAD\)%20nach%20Altersklasse%20und%20Diagnosecode](https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.html?dyn_publishingyear=2024&dyn_title=Medizinische%20Statistik%20der%20Krankenh%C3%A4user%3AAanzahl%20F%C3%A4lle%20und%20durchschnittliche%20Aufenthaltsdauer%20(DAD)%20nach%20Altersklasse%20und%20Diagnosecode) .
- BFS (2020b): *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050*. Bundesamt für Statistik. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/14963221> .
- BFS (2023a): *Todesfälle nach Alter und Geschlecht, 1970-2022*. su-d-01.04.02.01.01. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/geburten-todesfaelle/todesfaelle.assetdetail.25565614.html> .
- BFS (2023b): *Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung, Provisorische Jahresergebnisse, 2005-2022*. cc-d-01.02.04.03. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/24325486> .
- BFS (2023c): *Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP), Geodaten 2022*. Bundesamt für Statistik. Verfügbar unter:

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/gebaeude-wohnungen-haushalte-personen/bevoelkerung-haushalte-ab-2010.html> .

BFS (2023d): *LIK*. Bundesamt für Statistik. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/preise/erhebungen/lik.html> .

BFS (2023e): *Nominallohnindex*. Bundesamt für Statistik.

Crouse, D. L.; Peters, P. A.; Hystad, P.; Brook, J. R.; van Donkelaar, A.; Martin, R. V.; Villeneuve, P. J.; Jerrett, M.; Goldberg, M. S.; Pope, C. A.; Brauer, M.; Brook, R. D.; Robichaud, A.; Menard, R. und Burnett, R. T. (2015): «Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ Exposures and Associations with Mortality over 16 Years of Follow-Up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC)», *Environmental Health Perspectives*, 123(11), S. 1180–1186. doi: 10.1289/ehp.1409276.

EKL (2023): *Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung*. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene. Verfügbar unter: https://www.ekl.admin.ch/inhalte/dateien/pdf/EKL-231120_de_orig.pdf .

Empa (2021): *Chemical characterisation and source identification of PM₁₀ and PM_{2.5} in Switzerland*. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Verfügbar unter: <https://www.empa.ch/documents/56101/246436/Characterisation-source-identification-PM/06bd7419-f746-41dc-a34b-81f67bae8aff> .

Meteotest (2023a): *Karten von Jahreswerten der Luftbelastung in der Schweiz: Datengrundlagen, Berechnungsverfahren und Resultate bis zum Jahr 2022*. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Verfügbar unter: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/fachinfo-daten/karten_der_luftbelastunginderschweiz-dokumentation.pdf.download.pdf/karten_der_luftbelastunginderschweiz-dokumentation.pdf .

Meteotest (2023b): *Belastungskarten Ozon: Aktualisierung von Modellresultaten und Karten bis 2021 für die beiden Basel – Technischer Bericht*. .

Meteotest (2024): *Emissionskataster OSTLUFT*. .

OSTLUFT (2023): *Immissionsbelastung O₃ Sommersaison*. .

Strak, M.; Weinmayr, G.; Rodopoulou, S.; Chen, J.; Hoogh, K. de; Andersen, Z. J.; Atkinson, R.; Bauwelinck, M.; Bekkevold, T.; Bellander, T.; Boutron-Ruault, M.-C.; Brandt, J.; Cesaroni, G.; Concin, H.; Fehcht, D.; Forastiere, F.; Gulliver, J.; Hertel, O.; Hoffmann, B.; Hvidtfeldt, U. A.; Janssen, N. A. H.; Jöckel, K.-H.; Jørgensen, J. T.; Ketzel, M.; Klompmaker, J. O.; Lager, A.; Leander, K.; Liu, S.; Ljungman, P.; Magnusson, P. K. E.; Mehta, A. J.; Nagel, G.; Oftedal, B.; Pershagen, G.; Peters, A.; Raaschou-Nielsen, O.; Renzi, M.; Rizzuto, D.; Schouw, Y. T. van der; Schramm, S.; Severi, G.; Sigsgaard, T.; Sørensen, M.; Stafoggia, M.; Tjønneland, A.; Verschuren, W. M. M.; Vienneau, D.; Wolf, K.; Katsouyanni, K.; Brunekreef, B.; Hoek, G. und Samoli, E. (2021): «Long term exposure to low level air pollution and mortality in eight European cohorts within the ELAPSE project: pooled analysis», *BMJ*, 374, S. n1904. doi: 10.1136/bmj.n1904.

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 Organisation. Verfügbar unter:

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/153692/Health%20risks%20of%20air%20pollution%20in%20Europe%20%e2%80%93%20HRAPIE%20project%2c%20Recommendations%20for%20concentration%e2%80%93response%20functions%20for%20cost%e2%80%93benefit%20analysis%20of%20particulate%20matter%2c%20ozone%20and%20nitrogen%20dioxide.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .

WHO (2021): *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organisation. Verfügbar unter:
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1> .

Anhang

A-1 Begriffserklärung

Attributable Fälle

Krankheits- oder Todesfälle, welche der Luftverschmutzung zugerechnet werden. Siehe auch Berechnungsbeispiel in Anhang A-5.

Dosis-Wirkungs-Relation

Ein auf Basis empirischer, epidemiologischer Erhebungen geschätzter Zusammenhang zwischen Schadstoffkonzentration und Gesundheitsfolgen (wie z.B. Tage mit Asthma-Symptomen, chronische Bronchitis, Mortalität).

Effektschätzer

Im vorliegenden Kontext zeigt der Effektschätzer, mit wie viel höherer Wahrscheinlichkeit eine Gesundheitsfolge auftritt, wenn die Schadstoffkonzentration zunimmt. Meist wird der Effektschätzer für eine Zunahme von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben:

$$\text{Effektschätzer} = \frac{P(\text{Aufreten Gesundheitsfolge} \mid \text{bei Referenzkonzentration} + 10 \mu\text{g}/\text{m}^3)}{P(\text{Auftreten Gesundheitsfolge} \mid \text{bei Referenzkonzentration})}$$

Rechenbeispiel:

Gesundheitsfolge = Chronische Bronchitis

Referenzkonzentration = $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Schadstoffkonzentration = $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Effektschätzer = 1.167

Unter Verwendung dieser Parameterwerte gilt: Bei einer Schadstoffkonzentration von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist die Wahrscheinlichkeit für chronische Bronchitis 1.36 ($=1.167^2$) mal höher als bei der Referenzkonzentration von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Immaterielle Kosten

Den immateriellen Kosten liegen keine Mittelflüsse und/oder Wertschöpfungsverluste zugrunde. Sie quantifizieren zum Beispiel den Verlust von Lebensqualität durch eine Erkrankung oder das Leid von Angehörigen bei einem frühzeitigen Todesfall. Für deren Bewertung sind Zahlungsbereitschaftsstudien am gebräuchlichsten. Dabei wird die Zahlungsbereitschaft mittels spezieller Befragungs- und Auswertungsverfahren (Stated Preference Methods) erhoben.

Inzidenzrate

Anzahl neuerkrankte Personen in einem bestimmten Zeitraum.

Konfidenzintervall

Ein Konfidenzintervall veranschaulicht den statistischen Unsicherheitsbereich eines Parameterwertes, welcher auf Basis einer Stichprobe geschätzt wurde. Das Konfidenzintervall zeigt den Wertebereich des Parameters, welcher unter Verwendung eines statistischen Modells (z.B. Annahme einer Normal-Verteilung) mit den in der Stichprobe vorhandenen

Daten vereinbar ist. Bei einem 95 %-Konfidenzintervall gilt: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % ist der wahre Parameterwert im Konfidenzintervall enthalten.

Prävalenzrate

Anzahl erkrankte Personen in einem bestimmten Zeitraum.

Statistische Unsicherheit

Die statistische Unsicherheit bezeichnet jenen Unsicherheitsbereich eines Messwertes, welcher auf die Erhebung mittels Stichprobe und/oder auf zufällige Schwankungen des Wertes zurückgeht. Der statistische Unsicherheitsbereich der Effektschätzer ergibt sich somit daraus, dass sie auf Stichprobenmessungen von Gesundheitsfolgen und Luftschadstoffkonzentrationen basieren. Mögliche systematische Erhebungsfehler sind in der statistischen Unsicherheit nicht enthalten.

A-2 Emissionen

Angaben über Emissionen werden für die Erläuterungen zur Entwicklung der bestimmenden Grössen (Kapitel 3.5) und für die Zuordnung zu den Verursachergruppen (Kapitel 5) verwendet.

A-2.1 Emissionskataster

Der Emissionskataster (Tabelle 15) für das OSTLUFT-Gebiet umfasst die wichtigsten Luftschadstoffe: BC, CO, NH₃, NMVOC, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂. Die Emissionsbilanzierung liegt bis auf Stufe Gemeinde und für die Zeitstände 2015, 2020, 2021 und 2030 vor.

Die Emissionsdaten der Stickoxide (NO_x), Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2.5}) sowie Russ (BC) wurden im Rahmen einer schweizweiten Aktualisierung der Karten für Luftschadstoffemissionen Schweiz und Liechtenstein in Hektarrasterauflösung bilanziert (Pollumap). Die Datengrundlagen für die Emissionen bildet das Emissionsinformations-System Schweiz (EMIS) – die Datenbank des Bundesamts für Umwelt BAFU mit den nationalen Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen (Datengrundlage: Submission 2023 BAFU). In einer Ergänzungsstudie im Auftrag des BAFU wurden für dieselben Emittentengruppen anschliessend auch Emissionskataster in Hektarrasterauflösung für weitere Luftschadstoffe und Treibhausgase erstellt.

Im Anschluss an die genannten Arbeiten hat die 'Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein' (OSTLUFT) die Arbeitsgemeinschaft INF-RAS/Meteotest damit beauftragt, die Emissionen aller genannten Substanzen auf Stufe Gemeinden des OSTLUFT-Gebiets zu aggregieren und die Daten in geeigneter Form aufzubereiten mit dem Ziel, für die OSTLUFT-Gemeinden eine mit dem schweizerischen Emissionskataster konsistente Datengrundlage zur Verfügung zu haben.

Hauptgruppe	Untergruppe
Dienstleistungen	<ul style="list-style-type: none"> – Dienstleistungen Landschaftspflege – F-Gase: Läden, Gebäude mit Klimaanlage – Feuerungen Dienstleistungen Holz und Kohle – Feuerungen Dienstleistungen Öl und Gas
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> – Feuerungen Haushalte Holz und Kohle – Feuerungen Haushalte Öl und Gas – Haushalte andere Brände etc. – Haushalte andere Feuerwerk etc. – Haushalte andere Private etc. – Lösungsmittel Konsumprodukte – Maschinen Garten und Hobby
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> – Baumaschinen – Deponien – Flächenquellen Industrie – Industriefahrzeuge – Kläranlagen – Kompostierung – Lösungsmittel Industrie – Punktquellen KVA – Punktquellen Zementwerke – Verluste Gasnetz
Land- und Forstwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> – Abfallverbrennung Land- und Forstwirtschaft – Feuerungen Landwirtschaft Holz – Forstwirtschaftliche Maschinen – Landwirtschaftliche Maschinen – Landwirtschaftliche Nutzflächen – Ställe – Vergärung – Weiden
Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> – Schienenverkehr Bau-/Dienstzüge – Schienenverkehr Rangieren – Schifffahrt Fährlinien – Schifffahrt Seen – Strassenverkehr – Zonenverkehr

Tabelle 15: Gliederung des Emissionskatasters nach Haupt- und Untergruppen.

Gruppen	NOx [t]			PM2.5 [t]			NH3 [t]		
	2015	2021	2030	2015	2021	2030	2015	2021	2030
Dienstleistungen									
Dienstleistungen Landschaftspflege	12.6	11.8	8.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
F-Gase: Läden, Gebäude mit Klimaanlage	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feuerungen Dienstleistungen Holz und	301.3	394.2	246.3	124.9	115.4	45.7	6.9	8.5	5.0
Feuerungen Dienstleistungen Öl und Gas	598.3	520.4	292.2	4.1	3.9	2.2	0.9	1.7	0.9
Haushalte									
Feuerungen Haushalte Holz und Kohle	479.6	510.5	533.2	335.8	277.1	204.3	16.1	16.4	14.8
Feuerungen Haushalte Öl und Gas	952.4	785.1	508.1	5.6	5.1	3.6	0.0	0.0	0.0
Haushalte andere Brände etc	4.3	4.2	4.2	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
Haushalte andere Feuerwerk etc	5.6	5.5	5.5	124.4	108.8	123.9	12.5	12.5	12.3
Haushalte andere Private etc	32.4	24.5	22.7	171.9	100.1	101.8	237.6	217.2	222.6
Lösungsmittel Konsumprodukte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maschinen Garten und Hobby	6.7	6.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrie									
Baumaschinen	644.4	352.6	291.9	102.7	101.0	102.4	0.5	0.4	0.5
Deponien	0.9	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	65.6	48.2	31.8
Flächenquellen Industrie	1275.7	1327.2	1380.6	341.8	342.1	370.0	23.4	16.6	11.3
Industriefahrzeuge	181.2	105.8	73.1	8.4	3.4	1.1	0.1	0.1	0.1
Kläranlagen	18.9	12.8	14.6	3.0	0.8	0.9	42.0	36.9	39.9
Kompostierung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.9	86.6	86.0
Lösungsmittel Industrie	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	12.1	8.0
Punktquellen KVA	606.1	563.5	551.7	13.0	12.3	12.0	7.3	6.9	6.7
Punktquellen Zementwerke	411.8	450.6	450.6	0.0	0.0	0.0	22.4	12.0	12.0
Verluste Gasnetz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Land- und Forstwirtschaft									
Abfallverbrennung Land- und Forstwirtschaft	5.9	5.6	5.6	8.1	7.7	7.7	3.4	3.3	3.3
Feuerungen Landwirtschaft Holz	34.8	46.5	40.0	6.9	10.5	4.4	0.3	0.6	0.3
Forstwirtschaftliche Maschinen	32.1	15.9	10.4	2.5	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0
Landwirtschaftliche Maschinen	718.9	495.2	319.0	66.7	41.8	19.1	0.2	0.2	0.2
Landwirtschaftliche Nutzflächen	200.1	207.0	182.9	11.2	11.0	11.0	634.0	643.6	570.4
Ställe	214.1	204.5	201.1	21.7	23.2	22.9	5947.6	5811.1	5720.9
Vergärung	1.3	1.6	3.3	0.0	0.0	0.0	38.3	60.9	127.2
Weiden	569.7	563.8	553.8	0.0	0.0	0.0	6588.9	6451.9	6325.4
Verkehr									
Schienenverkehr Bau-/Dienstzüge	0.0	0.0	0.0	53.0	47.3	56.8	0.0	0.0	0.0
Schienenverkehr Rangieren	18.3	17.0	11.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Schifffahrt Fährlinien	101.9	82.3	50.8	4.1	2.8	1.6	0.0	0.0	0.0
Schifffahrt Seen	245.4	212.5	166.4	8.4	5.4	2.9	0.0	0.0	0.0
Strassenverkehr	11982.5	7044.2	3852.4	414.4	330.8	345.3	335.2	240.3	235.8
Zonenverkehr	325.0	270.7	267.7	10.1	5.0	2.6	0.0	0.0	0.0
Wälder	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	19982.5	14242.0	10052.1	1843.6	1557.4	1443.3	14059.8	13687.9	13435.4
Differenz zu 2015 [%]		29%			16%			3%	
Differenz zu 2021 [%]			29%			7%			3%

Tabelle 16: Emissionskataster OSTLUFT für die Luftschadstoffe NOx, PM2.5 und NH3.

Gruppen	SO ₂ [t]			NMVOC [t]		
	2015	2021	2030	2015	2021	2030
Dienstleistungen						
Dienstleistungen Landschaftspflege	0.0	0.0	0.0	100.0	89.3	87.2
F-Gase: Läden, Gebäude mit Klimaanlage	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feuerungen Dienstleistungen Holz und Kohle	12.8	14.6	9.0	165.3	149.6	63.1
Feuerungen Dienstleistungen Öl und Gas	135.9	68.8	15.7	85.2	77.6	41.5
Haushalte						
Feuerungen Haushalte Holz und Kohle	58.6	50.8	42.4	619.9	524.1	351.4
Feuerungen Haushalte Öl und Gas	236.9	104.8	28.0	176.0	161.8	118.3
Haushalte andere Brände etc	2.1	2.1	2.1	34.4	33.6	33.6
Haushalte andere Feuerwerk etc	1.9	1.3	2.0	14.6	14.5	14.3
Haushalte andere Private etc	4.9	3.6	2.9	180.7	119.2	114.5
Lösungsmittel Konsumprodukte	0.0	0.0	0.0	2245.7	2213.4	2353.0
Maschinen Garten und Hobby	0.0	0.0	0.0	43.2	35.1	26.0
Industrie						
Baumaschinen	22.3	22.6	22.9	260.5	205.4	197.1
Deponien	0.0	0.0	0.0	43.2	31.8	21.0
Flächenquellen Industrie	500.9	383.3	425.1	10.4	10.4	0.0
Industriefahrzeuge	0.1	0.1	0.1	27.3	14.5	9.7
Kläranlagen	15.6	4.5	5.2	2.8	5.3	6.1
Kompostierung	0.0	0.0	0.0	51.3	62.6	62.1
Lösungsmittel Industrie	0.0	0.0	0.0	9231.5	8442.3	8411.6
Punktquellen KVA	82.7	77.9	76.3	42.2	39.8	39.0
Punktquellen Zementwerke	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Verluste Gasnetz	0.0	0.0	0.0	1018.9	798.0	562.7
Land- und Forstwirtschaft						
Abfallverbrennung Land- und Forstwirtschaft	0.1	0.1	0.1	6.3	6.0	6.0
Feuerungen Landwirtschaft Holz	4.5	3.2	2.2	7.3	7.8	4.7
Forstwirtschaftliche Maschinen	0.0	0.0	0.0	38.5	34.0	30.3
Landwirtschaftliche Maschinen	0.5	0.5	0.5	286.7	202.4	143.4
Landwirtschaftliche Nutzflächen	0.0	0.0	0.0	110.1	108.3	108.4
Ställe	0.0	0.0	0.0	4309.9	4329.0	4255.0
Vergärung	0.2	0.2	0.5	177.7	284.9	595.2
Weiden	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Verkehr						
Schieneverkehr Bau-/Dienstzüge	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schieneverkehr Rangieren	0.0	0.0	0.0	2.1	2.0	1.3
Schiffahrt Fährlinien	0.0	0.0	0.0	33.1	24.1	14.5
Schiffahrt Seen	0.6	0.3	0.3	102.9	94.3	81.4
Strassenverkehr	17.7	15.6	14.6	1012.6	788.6	581.0
Zonenverkehr	0.5	0.4	0.3	1589.2	1073.4	670.0
Wälder	0.0	0.0	0.0	13642.5	13642.5	13642.5
Total	1098.9	754.8	650.3	35672.1	33623.5	32634.1
Differenz zu 2015 [%]		31%			6%	
Differenz zu 2021 [%]			14%			3%

Tabelle 17: Emissionskataster OSTLUFT für die Luftschadstoffe SO₂ sowie NMVOC.

A-2.2 Herleitung sekundäre Feinstaub-Partikel

Messungen der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt zeigen, dass neben primären PM_{2.5}-Emissionen auch andere Schadstoffe als sekundäre Partikel zu den PM_{2.5}-Immissionen beitragen (Empa, 2021).

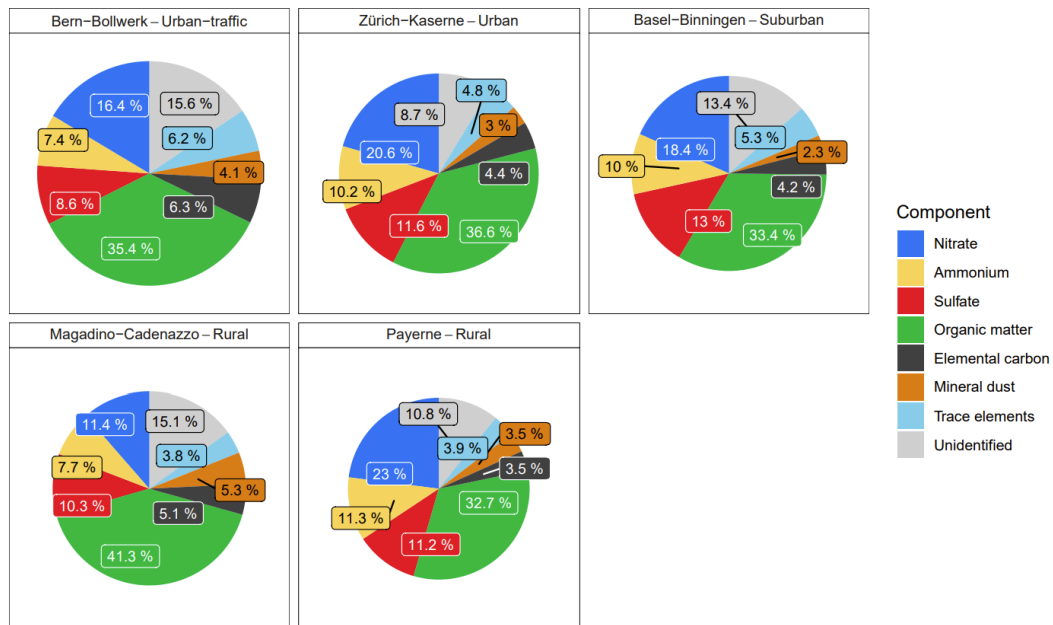


Figure 2 – Pie charts of the relative contribution of the main PM_{2.5} components for the five sites of the 2018–2019 measurement period. The area of the shown circles is proportional to the PM_{2.5} concentration at the different sites (Bern-Bollwerk: 14.0 $\mu\text{g m}^{-3}$, Zürich-Kaserne: 11.1 $\mu\text{g m}^{-3}$, Basel-Binningen: 10.6 $\mu\text{g m}^{-3}$, Magadino-Cadenazzo: 10.4 $\mu\text{g m}^{-3}$, Payerne: 9.2 $\mu\text{g m}^{-3}$).

Abbildung 17: Relativer Beitrag der Hauptkomponenten zur PM_{2.5}-Immissionskonzentration (Empa, 2021).

In der vorliegenden Studie wurden die Mittelwerte der Empa-Studie (ohne Station Magadino-Cadenazzo) verwendet. Die untenstehende Tabelle zeigt die Anteile der Komponenten an den PM2.5-Immissionen und ihre Vorläufersubstanzen.

Komponente		Anteil an PM2.5-Immission	Vorläufersubstanz
<i>Quelle</i>		<i>Mittelwert aus Empa-Studie</i>	<i>Annahme OSTLUFT</i>
Sekundäre Komponenten	Nitrate	20 %	NOx
	Ammonium	10 %	NH3
	Sulfate	11 %	SO2
	Organic Matter	35 %	Primäres PM2.5 und VOC (hälftig)
Primäre Komponenten	Element carbon	5 %	Primäres PM2.5
	Mineral Dust	3 %	
	Trace elements	5 %	
	Unidentified	12 %	
Total		100 %	

Tabelle 18: Primäre und sekundäre PM2.5-Komponenten

Für die Zuordnung der PM2.5-bedingten Gesundheitskosten zu den Verursachergruppen in Variante 2 wurden die Emissionen des primären PM2.5 und der Vorläufersubstanzen NOx, NH₃, SO₂ und VOC anteilmässig den Verursachergruppen zugeordnet.

A-3 Immissionen

Basierend auf Modellrechnungen und den gemessenen Konzentrationen der Schweizer Messstationen von Bund, Kantonen und Städten, werden mit einem Interpolationsverfahren Karten der Luftbelastung berechnet.

PM_{2.5}- und NO₂-Immissionen

In der vorliegenden Studie wurden Immissionskarten und -daten des Bundesamts für Umwelt verwendet.

- Betrachtungsjahr 2015: Mittels des Modells PolluMap wurden Konzentrationen der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid und Feinstaub PM_{2.5} berechnet (Jahresmittelwerte). Die Karten basieren auf den Emissionen von 2015. *Quelle: [Luftbelastung: Modelle und Szenarien \(admin.ch\)](#)*
- Betrachtungsjahr 2022: Basierend auf Modellrechnungen und den gemessenen Konzentrationen der Schweizer Messstationen von Bund, Kantonen und Städten, werden mit einem Interpolationsverfahren Karten der Luftbelastung berechnet (Jahresmittelwerte). *Quellen: Meteotest (2023a) und [Karten Jahreswerte \(admin.ch\)](#)*

O₃-Immissionen

Die Immissionskarten und -daten für Ozon wurden von OSTLUFT basierend auf der neuen Metrik der WHO (durchschnittliche Ozonbelastung während der Sommersaison) bereitgestellt. Zur Berechnung der WHO-Metrik wurden die höchste zusammenhängende mittlere 8-Stunden Belastung pro Tag ermittelt und anschliessend alle höchsten 8-Stunden Belastungen während der Sommersaison zu einem saisonalen Wert gemittelt.

A-4 Bevölkerungsexposition

Für die Ermittlung der Bevölkerungsexposition wurden Daten der Immissionsmodelle (siehe Anhang A-3) und Bevölkerungsstatistiken des Bundesamt für Statistik (2016; 2023c) verwendet (siehe auch <https://s.geo.admin.ch/jxz2qvwtiigh>).

Die folgenden Tabellen geben für den jeweiligen Luftschadstoff die Anzahl Personen im OSTLUFT-Gebiet im jeweiligen Belastungsintervall an. Dabei bedeuten runde Klammern ein offenes Intervall (der Wert an der Klammer ist nicht eingeschlossen) und eckige Klammern ein geschlossenes Intervall (der Wert an der Klammer ist mit einbezogen).

Bevölkerungsexposition Feinstaub PM2.5

Belastung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anzahl Personen 2015	Anzahl Personen 2022
(0,2]	903	1'653
(2,4]	46'835	67'730
(4,6]	79'069	88'040
(6,8]	225'243	1'065'430
(8,10]	1'909'877	1'603'502
(10,12]	391'806	12'540
(12,14]	2'707	0

Tabelle 19: Bevölkerungsexposition mit PM2.5.

Bevölkerungsexposition NO₂

Belastung [µg/m ³]	Anzahl Personen 2015	Anzahl Personen 2022
(0,2]	363	1'841
(2,4]	6'132	18'603
(4,6]	14'705	36'766
(6,8]	18'833	92'107
(8,10]	29'422	437'303
(10,12]	56'679	765'864
(12,14]	151'296	724'437
(14,16]	325'591	385'718
(16,18]	429'484	219'769
(18,20]	533'718	97'294
(20,22]	420'273	32'549
(22,24]	257'537	15'362
(24,26]	182'894	5'182
(26,28]	113'251	2'650
(28,30]	54'698	1'646
(30,32]	27'307	1'010
(32,34]	12'456	599
(34,36]	9'963	122
(36,38]	3'933	4
(38,40]	2'341	43
(40,42]	1'716	0
(42,44]	1'012	16
(44,46]	634	21
(46,48]	1'164	0
(48,50]	575	0
(50,52]	303	0
(52,54]	23	0
(54,56]	111	0
(58,60]	5	0
(66,68]	35	0

Tabelle 20: Bevölkerungsexposition mit NO₂.

Bevölkerungsexposition O₃

Belastung [µg/m ³]	Anzahl Personen 2015	Anzahl Personen 2022
(66,68]	35	0
(68,70]	5	37
(70,72]	171	0
(72,74]	307	40
(74,76]	915	31
(76,78]	2'355	400
(78,80]	9'528	5'412
(80,82]	37'282	13'651
(82,84]	257'600	28'946
(84,86]	341'900	78'297
(86,88]	463'906	255'167
(88,90]	581'453	1'007'759
(90,92]	442'169	1'093'573
(92,94]	248'476	155'783
(94,96]	68'752	70'449
(96,98]	53'171	55'553
(98,100]	44'141	72'901
(100,102]	80'137	957
(102,104]	23'797	36
(104,106]	342	9
(106,108]	9	0
(108,110]	0	0
(112,114]	3	0

Tabelle 21: Bevölkerungsexposition mit O₃.

A-5 Berechnungsbeispiel Attributable Fälle

Als attributable Fälle werden Krankheits- und Todesfälle bezeichnet, welche auf die Luftverschmutzung zurückgeführt werden. Im Projekt werden attributable Fälle mit zwei unterschiedlichen Bezugspunkten berechnet und ausgewiesen:

- 1 Attributablen Fälle pro Belastungszunahme pro 100'000 Einwohner. Diese zeigen, wie viel mehr Krankheits- und Todesfälle durch zusätzliche Luftbelastung entstehen.
- 2 Berechnung der attributablen Fälle in dem jeweiligen Gebiet. Diese zeigen, wie viele Krankheits- und Todesfälle im jeweiligen Gebiet der Luftverschmutzung zuzuordnen sind.

Schritt 1 ist Voraussetzung für Schritt 2.

Berechnung der attributablen Fälle pro Belastungszunahme

Abbildung 18 zeigt das Vorgehen und die Berechnungsinputs. Die attributablen Fälle pro Belastungszunahmen werden mittels Dosis-Wirkungs-Relationen (Effektschätzer) auf Basis der mittleren Belastungen sowie der Inzidenz- und Prävalenzraten berechnet. Weiter gehen schadstoffspezifische Schwellenwerte in die Berechnung ein, ab welchen von einer gesundheitsschädlichen Wirkung auszugehen ist. Da schweizweite (und nicht kantonale) Inzidenz- und Prävalenzraten als Berechnungsinput dienen, beziehen sich die attributablen Fälle pro Belastungszunahmen auf die gesamte Schweiz. Für diese Studie wird angenommen, dass die attributablen Fälle auch für das Fürstentum Liechtenstein gelten.

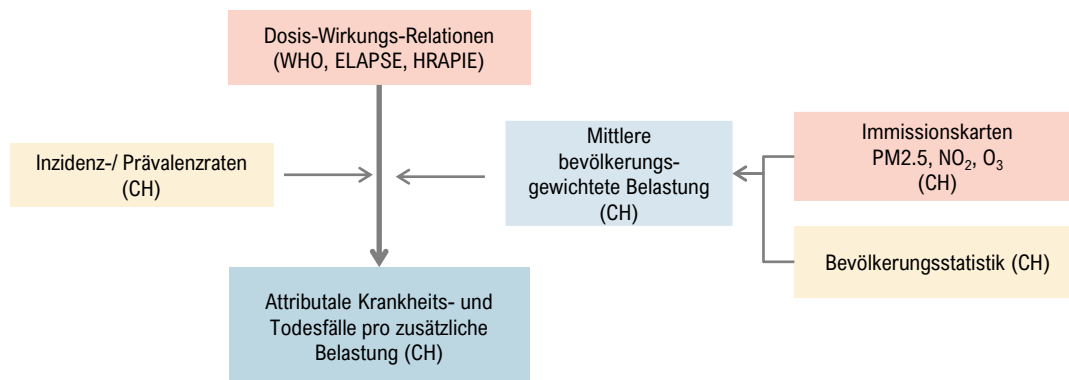


Abbildung 18: Schätzung der attributablen Fälle pro Belastungszunahme

Es folgt ein Berechnungsbeispiel für PM2.5-bedingte Todesfälle¹³.

¹³ Die Erläuterungen orientieren sich an ARE (2004).

Berechnungsinputs		Wert
E	Effektschätzer pro 10 µg/m ³ zusätzlicher Belastung	1.26
C0	Schwellenwert, ab welchen von einer gesundheitsschädlichen Wirkung ausgegangen wird	5 µg/m ³
CB	Mittlere Belastung in der Schweiz	9.3 µg/m ³
PB	Rate in der Bevölkerung pro 100'000 pro Jahr (alle Todesfälle, nicht nur Luftverschmutzung)	779

Tabelle 22: Berechnungsinputs

Mit der schweizweit mittleren PM2.5-Belastung von 9.3 µg/m³ traten in der Schweiz 779 Todesfälle pro 100'000 Einwohner auf. Mit Hilfe des Effektschätzers lässt sich ermitteln, wie viele es mit einer Belastung von nur 5 µg/m³ (entspricht dem Schwellenwert) gewesen wären. Dieser Wert wird auch als Basisprävalenz P_0 bezeichnet.

$$P_0 = \frac{P_B}{1 + (E - 1) * \frac{C_B - C_0}{10}} = \frac{779}{1 + (1.26 - 1) * \frac{9.3 - 5}{10}} = \frac{779}{1.1118} = 701$$

Die Überschreitung des Schwellenwertes um 4.3 µg/m³ führt demnach zu 78 (=779-701) zusätzlichen Todesfällen pro 100'000 Einwohner. Pro 10 µg/m³ Überschreitung des Schwellenwertes ergibt dies 181 Todesfälle, welche der PM2.5-Belastung zuzurechnen sind. Diese werden als attributable Fälle pro Belastungszunahme bezeichnet. Da in die Berechnung schweizweite Werte eingehen (Mittlere Belastung, Anzahl Todesfälle pro 100'000 Einwohner), gilt der berechnete Wert für die ganze Schweiz.

Attributable Fälle im OSTLUFT Gebiet

Basierend auf den im vorangehenden Schritt geschätzten attributablen Todesfälle pro Belastungszunahme können nun die im Kanton durch die PM2.5-Belastung verursachten Todesfälle geschätzt werden. Abbildung 19 zeigt das Vorgehen. Zusätzlich zu den attributablen Krankheits- und Todesfällen pro Belastungszunahme wird die Bevölkerungsexposition benötigt, welche die Anzahl Personen pro Belastungskategorien bzw. pro PM2.5-Konzentration zeigt (vgl. Abbildung 6 in Kapitel 2.2.4).

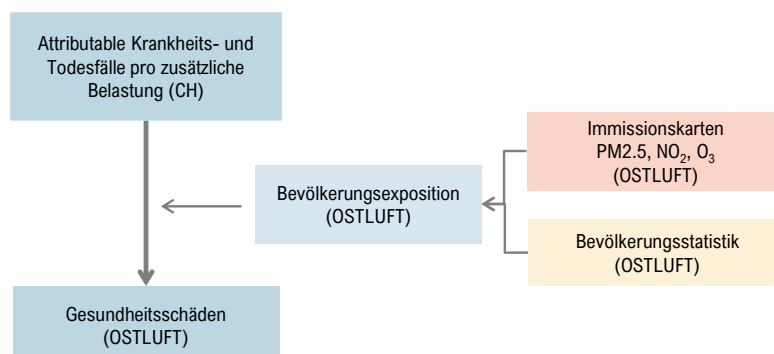


Abbildung 19: Schätzung der attributablen Fälle auf Gebietsebene.

Anhand der Bevölkerungsexposition ist ersichtlich, wie gross die Überschreitungen des Schwellenwertes sind und wie viele Personen von den jeweiligen Überschreitungen betroffen sind. Die Schätzung der attributablen Fälle im Kanton erfolgt, indem die Schwellenwertüberschreitungen über die gesamte Bevölkerung aufsummiert werden. Anschliessend erfolgt die Multiplikation mit den attributablen Fällen pro Belastungszunahme, wobei auf die Einheiten (pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und pro 100'000 Einwohner) zu achten ist. Es resultieren die attributablen Fälle im OSTLUFT-Gebiet:

Geschätzte Anzahl Krankheits- und Todesfälle aufgrund der PM2.5-Belastung			
	Einheit	2015	2022
Mortalität Erwachsene (Todesfälle)	Fälle	2'193	1'819

Tabelle 23: Ergebnisse attributable Fälle im OSTLUFT-Gebiet durch die PM2.5-Belastung.

A-6 Berechnungsinputs und Zwischenergebnisse

A-6.1 Dosis-Wirkungs-Relationen

Die untenstehenden Tabellen zeigen die im Zuge des Projektes gesichteten Dosis-Wirkungs-Relationen, aus denen die schliesslich verwendeten Effektschätzer ausgewählt wurden (vgl. Kapitel 2.2.2). Wenn nicht anders angegeben beziehen sie sich auf eine Erhöhung der Schadstoffkonzentration um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Generell wurde in der ELAPSE Studie für Feinstaub und NO_2 eine supralineare Beziehung bei den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen gemessen wie in Abbildung 20 ersichtlich ist (Strak et al., 2021). Da die ausgewiesenen Schätzer allerdings auf einer linearen Schätzung basieren und die Belastungen im OSTLUFT Gebiet nicht am rechten Rand von Abbildung 20 sind, wurden die Gesundheitsauswirkungen der Schadstoff-Belastung anhand einer linearen Relation geschätzt.

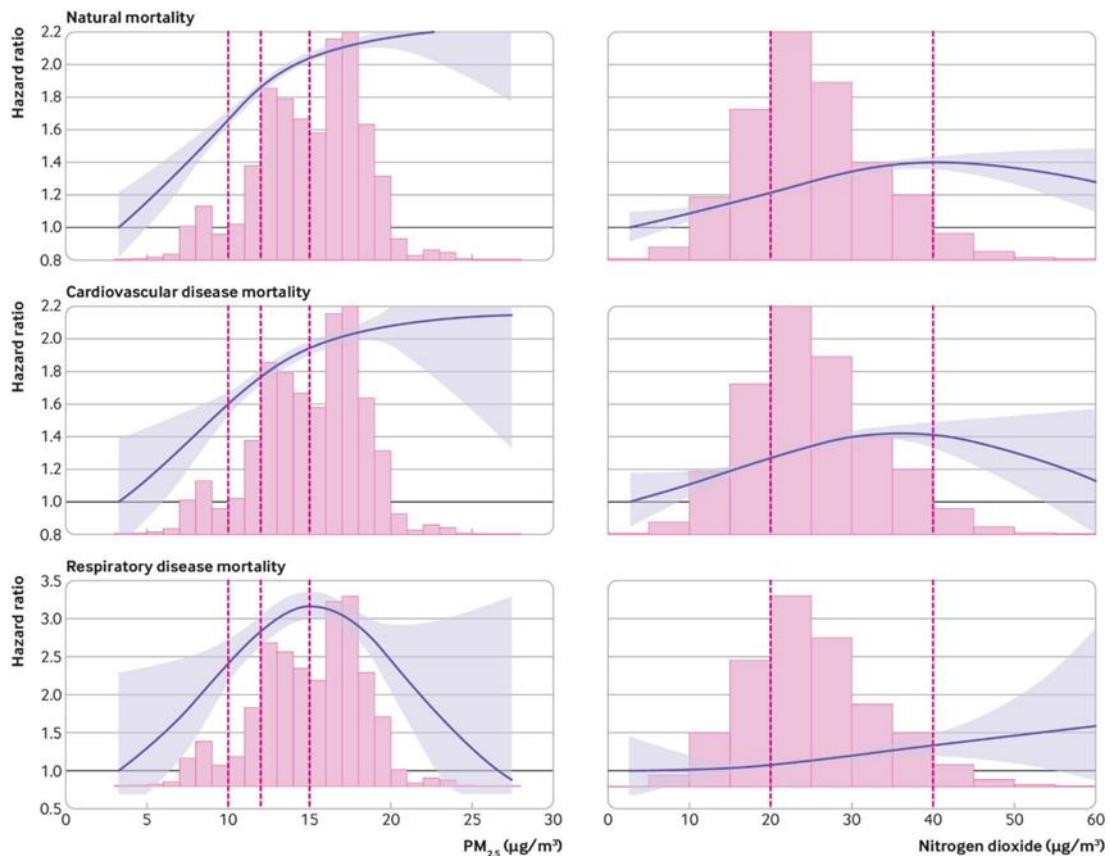


Abbildung 20: Lineare bis supralineare Dosis-Wirkungs-Relationen von Feinstaub und NO_2 . Quelle: Strak et al. (2021)

Auch für O_3 basieren die Schätzer auf einer linearen Beziehung. Die nachfolgende Abbildung 21 zeigt, dass die Belastungen im OSTLUFT Gebiet auch für Ozon eine lineare Beziehung aufweisen.

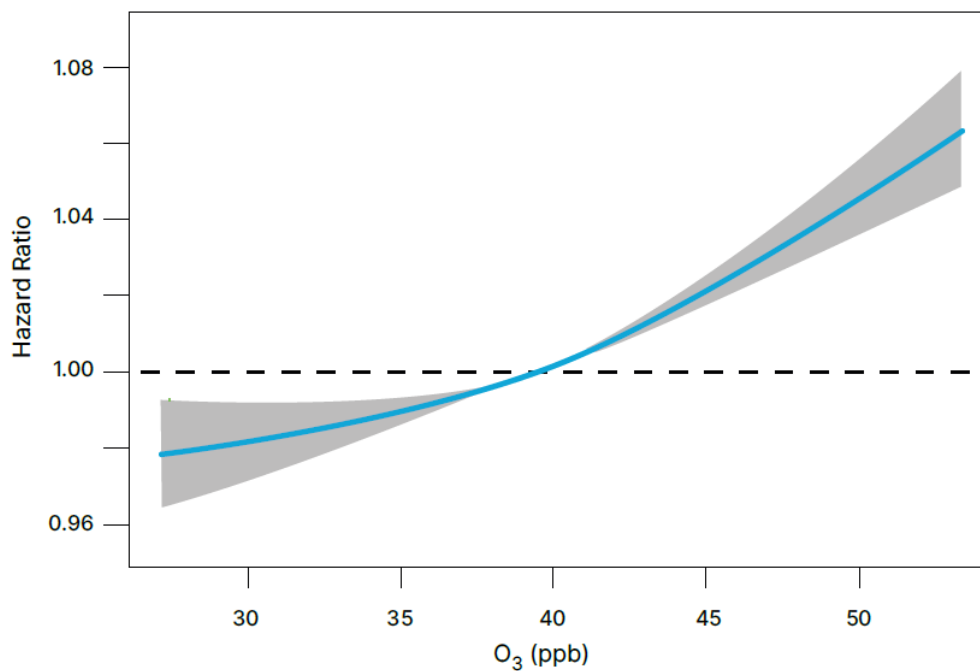


Abbildung 21: Lineare Dosis-Wirkungs-Relationen von O₃. Quelle: WHO (2021) basierend auf Crouse et al. (2015)

i. Feinstaub PM_{2.5}

Die grauen, eingerückten Schätzwerte beziehen sich auf die in der obenstehenden Meta-studie betrachteten Studien.

Wirkung Feinstaubbelastung: Mortalität, PM _{2.5} -basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schätzer	Datengrundlage	Mittlere Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz-/Langzeit	Publikation	Bemerkung
1.062			Hoek et al. (2013)	Langzeit	HRAPIE 2013 COMEAP 2020	Metaanalyse, 13 Studien
1.13	Region: Europ. Kohorten Studien (Schweden, Dänemark, Niederlande, Frankreich, Deutschland, Österreich) Alter: Durchschnitt 42-73. N: 325`367	Durchschnitt (SD): 15.02 (3.22)	Strak M, Weinmayr G, Rodopoulou S, Chen J, de Hoogh K et al. (2021)	Langzeit	ELAPSE 2021	Effektschätzer bezieht sich auf eine Erhöhung um 5 µg/m ³ . Unter Annahme der Linearität erfolgt eine Umrechnung auf pro 10 µg/m ³ mittels Faktor 2 (10 µg/m ³ / 5 µg/m ³). Konfidenzintervalle: (1.106, 1.155)
1.08			Chen & Hoek (2020)	Langzeit	WHO 2021	Metaanalyse, 25 Studien. Verlässlichste Studie wies linearen Zusammenhang aus.

Zugrundeliegende Studien Chen & Hoek (2020)

1.26	Region: Kanada Alter: 25-90 N: 299`500	6.32	Pinault et al. (2016)	Langzeit
1.16	Region: Kanada Alter: 25-90 N: 2`291`250	6.5	Cakmak et al. (2018)	Langzeit
1.18	Region: Kanada Alter: 25-90 N: 2`448`500	7.37	Pinault et al. (2017)	Langzeit
0.95	Region: Iowa, North Carolina Alter: - N: 83`378	9.5	Weichenthal et al. (2014)	Langzeit
1.12	Region: Kanada Alter: 40-59 N: 89`835	9.1	Villeneuve et al. (2015)	Langzeit
1.08	Region: USA Alter: 65+ N: 60`925`443	11	Di et al. (2017a)	Langzeit
1.03	Region: USA Alter: 25+ N: 657`238	11.8	Parker, Kravets & Vaidyanathan (2018)	Langzeit
1.08	Region: USA Alter: - N: 1`729`108	11.8	Bowe et al. (2018)	Langzeit
1.13	Region: USA Alter: 54-79 N: 108`767	12.0	Hart et al. (2015)	Langzeit
1.07	Region: Iowa, North Carolina Alter: 30+ N: 669`046	12.6	Turner et al. (2016)	Langzeit
1.11	Region: England Alter: 40-89 N: 835`607	12.9	Carey et al. (2013)	Langzeit
1.14	Region: Europa Alter: - N: 367`251	13.4	Beelen et al. (2014)	Langzeit
1.03	Region: USA Alter: 50-71 N: 517`041	12.2	Thurston et al. (2016a)	Langzeit
1.1	Region: USA Alter: Durchschnitt 42 N: 53`814	14.1	Hart et al. (2011)	Langzeit
1.14	Region: USA Alter: 25-74 N: 8`096	15.9	Lepeule et al. (2012)	Langzeit
1.16	Region: Frankreich Alter: - N: 20`327	17.0	Bentayeb et al. (2015)	Langzeit
0.86	Region: USA	17.8	Puett et al.	Langzeit

	Alter: 40-75 N: 17`545		(2011)	
1.01	Region: Kalifornien Alter: <=30 N: 101`884	17.9	Ostro et al. (2015)	Langzeit
1.05	Region: Rom Alter: 30+ N: 1`249`108	19.6	Badaloni et al. (2017)	Langzeit
1.01	Region: Kalifornien Alter: 43-99 N: 35`783	23.4	Enstrom (2005)	Langzeit
1.06	Region: Holland Alter: 55- 69 N: 120`852	28.3	Beelen et al. (2008)	Langzeit
0.92	Region: Taiwan Alter: - N: 43`227	29.6	Tseng et al. (2015)	Langzeit
1.09	Region: China Alter: 40+ N: 189`793	43.7	Yin et al. (2017)	Langzeit
1.06	Region: Hong Kong Alter: 65+ N: 66`820	42.2	Yang et al. (2018)	Langzeit
1.09	Region: Kalifornien Alter: 27+ N: 1,266	31.9	McDonnell et al. (2000)	Langzeit

Tabelle 24: Wirkung PM_{2.5}. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³ (wenn nicht anders angegeben).

Wirkung Feinstaubbelastung: Mortalität, PM10-basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schätzer	Datengrundlage	Median/ Durchschnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
1.04			Chen & Hoek (2020)	Langzeit	WHO 2021	Metastudie, 17 Studien, nur eine Studie wies CRF aus, welche keine signifikante Abweichung von einer linearen Relation fand.
Zugrundeliegende Studien Chen & Hoek (2020)						
1.07	Region: England Alter: 40-89 N: 835,607	19.7	Carey et al. (2013)	Langzeit		
1.24	Region: England Alter: Alle N: 367`658	20.7	Hansell et al. (2016)	Langzeit		
1.04	Region: Europa Alter: -	20.9	Beelen et al. (2014)	Langzeit		

N: 367`251					
1.16	Region: USA Alter: 30-55 N: 66`250	21.6	Puett et al. (2008)	Langzeit	
1.18	Region: Frankreich Alter: - N: 20`327	25.0	Bentayeb et al. (2015)	Langzeit	
1.07	Region: USA Alter: Durchschnitt 42 N: 53`814	26.8	Hart et al. (2011)	Langzeit	
0.92	Region: USA Alter: 40-75 N: 17`545	27.9	Puett et al. (2011)	Langzeit	
1.09	Region: USA Alter: 25-74 N: 8`111	28.9	Dockery et al. (1993)	Langzeit	
1.08	Region: Holland Alter: 30+ N: 7`218`363	29.0	Fischer et al. (2015)	Langzeit	
1.00	Region: Kalifornien Alter: - N: 101`784	29.2	Lipsett et al. (2011)	Langzeit	
0.98	Region: Japan Alter: 30+ N: 73`094	34.9	Ueda et al. (2012)	Langzeit	Mit PM7 geschätzt
1.02	Region: Rom Alter: 30+ N: 1`249`108	36.6	Badaloni et al. (2017)	Langzeit	
1.22	Region: Deutschland Alter: 50-59 N: 4`752	43.7	Heinrich et al. (2013)	Langzeit	
1.01	Region: Kalifornien Alter: 27-95 N: 6`338	51.2	Abbey et al. (1999)	Langzeit	
1.05	Region: Südkorea Alter: 20-65 N: 275`337	56.0	Kim, Kim & Kim (2017)	Langzeit	
1.02	Region: China Alter: 40+ N: 71`431	104.0	Zhou et al. (2014)	Langzeit	
1.01	Region: China Alter: 23+ N:39`054	144.0	Chen et al. (2016)	Langzeit	

Tabelle 25: Wirkung PM₁₀. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³. Die grauen, eingerückten Schätzwerte beziehen sich auf die in der obenstehenden Metastudie betrachteten Studien.

Wirkung Feinstaub: Weitere Gesundheitswirkungen PM2.5-basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schät- zer PM2.5	Datengrundlage	Median/ Durch- schnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
Spitaleintritt wegen Atemwegserkrankungen						
1.019				Kurzzeit	HRAPIE 2013	Metastudie, 3 Studien
Spitaleintritt wegen Herz/Kreislauserkrankungen						
1.0091				Kurzzeit	HRAPIE 2013	Metastudie, 5 Studien
Tage mit eingeschränkter Aktivität						
1.047	12'000 Erwachsene in 49 Städten in den USA		Ostro (1987)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Eine Studie
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden						
1.046	12'000 Erwachsene in 49 Städten in den USA		Ostro (1987)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Hohe Unterschiede in ange- gebenen Absenzen durch die länderspezifi- schen Unterschiede in der Definition.

Tabelle 26: Wirkung PM_{2.5}. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.

Wirkung Feinstaub: Weitere Gesundheitswirkungen PM10-basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schät- zer	Datengrundlage	Median/ Durch- schnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
Säuglingssterblichkeit						
1.040	4 Millionen Säug- ling in USA		Woodruff, Grillo & Schoendorf (1997)	Langzeit	HRAPIE 2013	Metaanalyse
1.18	3.5 Millionen Säug- ling in USA		Woodruff, Darrow & Parker (2008)	Langzeit	HRAPIE 2013	Säuglingssterblichkeit aufgrund von Atemweg- serkrankung, nicht emp- fohlen, wenn keine spezi- fischen Todesstatistiken dazu vorhanden.
Inzidenz chronische Bronchitis bei Erwachsenen						
1.117	Kalifornien, Schweiz		AHSMOG, SAPALDIA	Langzeit	HRAPIE 2013	Metaanalyse, 2 Studien
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern						
1.08	40'000 Kinder aus 9 Ländern		PARTY study, Hoek et al. 2012	Langzeit	HRAPIE 2013	Metaanalyse, heterogene Effekte in verschiedenen Studien

Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen

1.029				ARE 2014	Metaanalyse von 6 europäischen Studien
-------	--	--	--	----------	--

Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern

1.028	51 Länder, 36 in Europa	Weinmayr et al. (2010)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Metaanalyse
-------	-------------------------	------------------------	----------	-------------	-------------

Tabelle 27: Wirkung PM10. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.ii. Stickstoffdioxid NO₂

Die grauen, eingerückten Schätzwerte beziehen sich auf die in der obenstehenden Meta-studie betrachteten Studien. Wenn zwei Mediankonzentrationen angegeben sind, bezieht sich der obere Wert auf WHO (2021) und der untere, kursive Wert auf Chen & Hoek (2020).

Wirkung NO ₂ : Dosis-Wirkungs-Relationen Mortalität Erwachsene						
Schätzer	Datengrundlage	Median/ Durchschnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
1.055			Hoek et al. (2013)	Langzeit	HRPIE 2013	
1.0027	30 europäische Städte			Kurzzeit	HRPIE 2013	RR korrigiert für PM10
1.086	Region: Europäische Kohorten Studien (Schweden, Dänemark, Niederlande, Frankreich, Deutschland, Österreich) Alter: Durchschnitt 42-73 N: 325`367	Durchschnitt (SD): 25.00 (8.05)	Strak M, Weinmayr G, Rodopoulou S, Chen J, de Hoogh K et al. (2021)	Langzeit	ELAPSE	Konfidenzintervalle: (1.070, 1.102)
1.02			Huangfu & Atkinson (2020)	Langzeit	WHO 2021	Metaanalyse, 24 Studien, CDFs lassen einen supralinearen Zusammenhang vermuten.
Zugrundeliegende Studien Huangfu & Atkinson (2020)						
1.01	Region: England Alter: 25+ N: 154`204	18.5	Tonne & Wilkinson (2013)	Langzeit		
1.04	Region: Kanada Alter: 25-89 N: 2`448`500	21.6	Weichenthal, Pinault & Burnett (2017)	Langzeit		
1.03	Region: Kanada Alter: 25-89 N: 2`521`525	21.8	Crouse et al. (2015)	Langzeit		

1.02	Region: USA Alter: 30+ N: 669`046	21.8	Turner et al. (2016)	Lang- zeit
1.12	Region: Japan Alter: 65-84 N: 13`412	22.0	Yorifuji et al. (2013)	Lang- zeit
1.02	Region: England Alter: 40-89 N: 830`429	22.5	Carey et al. (2013)	Lang- zeit
1.01	Region: Europa Alter: Alle N: 367`251	22.2	Beelen et al. (2014)	Lang- zeit
1.01	Region: USA Alter: 15.3-84.9 N: 53`814	26.1	Hart et al. (2013)	Lang- zeit
1.05	Region: USA Alter: 30-55 N: 84,562	26.7	Hart et al. (2013)	Lang- zeit
1.07	Region: Frankreich Alter: 35-50 N: 20`327	28.0	Bentayeb et al. (2015)	Lang- zeit
1.08	Region: USA Alter: 30+ N: 406`917	30.3	Krewski et al. (2003)	Lang- zeit
1.03	Region: Holland Alter: >=30 N: 7`218`363	31.0	Fischer et al. (2015)	Lang- zeit
1.00	Region: USA Alter: 64 (Durchschnitt) N: 6575	35.9	Hartiala et al. (2016)	Lang- zeit
1.14	Region: Frankreich Alter: 25-59 N: 14`284	36.5	Filleul et al. (2005)	Lang- zeit
1.03	Region: USA Alter: 51 (Durchschnitt) N: 28`635	37.2	Lipfert et al. (2006)	Lang- zeit
1.03	Region: Holland Alter: 55-69 N: 120`227	38.0	Brunekreef et al. (2009)	Lang- zeit
1.23	Region: Kanada Alter: 56.6 (Durchschnitt) N: 2`360	39.1	Jerrett et al. (2009)	Lang- zeit
0.92	Region: China Alter: 23-89 N: 39`054	40.7	Chen et al. (2016)	Lang- zeit
1.03	Region: Italien Alter: 30+ N: 1`265`058	43.6	Cesaroni et al. (2013)	Lang- zeit
0.94	Region: UK Alter: 68.8 (Durchschnitt)	44.6	Desikan et al. (2016)	Lang- zeit

N: 1800					
0.95	Region: Italien Alter: 35-84 N: 6`513	48.5	Rosenlund et al. (2008)	Lang- zeit	
0.98	Region: USA Alter: 30+ N: 12`336	63.1	Lipsett et al. (2011)	Lang- zeit	
1.00	Region: USA Alter: 27-95 N: 5`652	69.2	Abbey et al. (1999)	Lang- zeit	
1.00	Region: China Alter: 65+ N: 61`386	104.0	Yang et al. (2018)	Lang- zeit	
1.023 1.006 – 1.013 (nur NO ₂ -Ef- fekt)				Lang- zeit	COMEAP Metaanalyse, 11 Stu- dien, einige Über- schneidungen mit Stu- dien, die für WHO 2021 Schätzer verwendet wurden, Studien von 1999 -2015. Effekt- schätzer in Studien rei- chen von 0.984 bis 1.078.
1.030				Lang- zeit	Metaanalyse, 6 Studien, viele Überschneidungen mit Studien, die für WHO 2021 Schätzer verwendet wurden, Stu- dien von 2009-2016, Relevanz für Deutsch- land wurde in der Aus- wahl der Studien be- rücksichtigt. ACHTUNG: Schätzer für Kardiovaskuläre Morta- lität.

Tabelle 28: Wirkung NO₂. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.

Wirkung NO₂: Weitere Gesundheitswirkungen NO₂-basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schätzer	Datengrundlage	Me- dian/Durch- schnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen						
1.0015				Kurz- zeit	HRPIE 2013	Metaanalyse, 4 Studien
1.0180				Kurz- zeit	HRPIE 2013	Metaanalyse, 15 Stu- dien

Tabelle 29: Wirkung NO₂. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.

iii. Ozon O₃

Wirkung O ₃ : Dosis-Wirkungs-Relationen Mortalität Erwachsene						
Schätzer	Datengrundlage	Median/ Durchschnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
1.014			Jerret et al. (2009)	Langzeit	HRAPIE (2013)	Atemwegserkrankungen, Alter über 30 Jahre >70 µg/m ³
1.0029			APHENA Studie, Katsouyanni et al. (2009)	Kurzzeit	HRAPIE (2013)	Daten aus 32 europäischen Städten, >70 µg/m ³
1.01			Huangfu & Atkinson (2020)	Langzeit	WHO (2021)	Metaanalyse 7 Studien
Zugrundeliegende Studien Huangfu & Atkinson (2020) aus WHO (2021)						
1.029	Region: Kanada Alter: 25-89 N: 2'448'500	76.6	Weichenthal, Pinault & Burnett (2017)	Langzeit		
1.04	Region: Kanada Alter: 25-90 N: 2'291'250	78.4	Cakmak et al. (2018)	Langzeit		
1.01	Region: USA Alter: 70.1 N: 60'925'443	90.0	Di et al. (2017)	Langzeit		
1.01	Region: USA Alter: >=30 N: 669'046	94.2	Turner et al. (2016)	Langzeit		
0.99	Region: USA Alter: >=30 N: 124'614	94.3	Lipsett et al. (2011)	Langzeit		
0.98	Region: Frankreich Alter: 43.7 N: 20'327	101.0	Bentayeb et al. (2015)	Langzeit		
1.00	Region: USA Alter: 51 (12) N: 28'635	173.4	Lipfert et al. (2006)	Langzeit		
1.013				Langzeit	WHO (2021)	Zum Zeitpunkt der WHO (2021) gab es neue Studien, welche nicht im Review von Huangfu & Atkinson (2020) miteinbezogen wurden. Werden diese miteinbezogen, erhöht sich der Effektschätzer leicht.
Neue Studien WHO (2021)						

1.036		72.0	Brauer et al. (2019)	Langzeit		
1.025		72.0	Brauer et al. (2019)	Langzeit		
1.00		92.4	Lim et al. (2019)	Langzeit		
1.016		94.9	Lefler et al. (2019)	Langzeit		
1.006		110.0	Kazemiparkouhi et al. (2019)	Langzeit		
0.896	Region: Europäische Kohorten Studien (Schweden, Dänemark, Niederlanden, Frankreich, Deutschland, Österreich) Alter: 42-73 N: 325`367		Strak M, Weinmayr G, Rodopoulou S, Chen J, de Hoogh K et al. (2021)	Langzeit	ELAPSE	Konfidenzintervall (0.878-0.914)
1.0043			Orellano et al. (2020)	Kurzzeit		Metaanalyse aus 48 Studien
1.0018			Vicedo-Cabrera (2020)	Kurzzeit		

Tabelle 30: Wirkung O₃. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.

Wirkung O₃: Weitere Gesundheitswirkungen O₃-basierte Dosis-Wirkungs-Relationen						
Schätzer	Datengrundlage	Median/ Durchschnitts- Belastung [µg/m ³]	Quelle	Kurz- /Lang- zeit	Publika- tion	Bemerkung
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen						
1.0044			APHENA Studie, Katsouyanni et al. (2009)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Daten aus 8 europäischen Städten, >70 µg/m ³
1.008			Zheng et al. (2021)	Langzeit und Kurzzeit		Metaanalyse mit 24 Studien
Spitaleintritte wegen Herz/Kreislaufkrankungen						
1.0089			APHENA Studie, Katsouyanni et al. (2009)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Daten aus 8 europäischen Städten, >70 µg/m ³
Tage mit geringfügig eingeschränkter Aktivität						

1.0154	APHENA Studie, Katsouyanni et al. (2009)	Kurzzeit	HRAPIE 2013	Daten aus 8 europäischen Städten, >70 µg/m ³
--------	--	----------	-------------	---

Tabelle 31: Wirkung O₃. Effektschätzer: Anstieg des relativen Risikos (RR) pro Anstieg der Belastung um 10 µg/m³.

A-6.2 Attributable Fälle

		PM2.5	NO ₂	O ₃
Mortalität Erwachsene	Fälle	182	63	10
Säuglingssterblichkeit	Fälle	0	0	0
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	Spitaleintritte	19	19	5
Spitaleintritt wegen Herz-Kreislauf-erkrankungen	Spitaleintritte	16	0	16
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	Fälle	50	0	0
Akute Bronchitis bei Kindern	Fälle	276	0	0
Tag mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen	Tage	696	0	0
Tag mit Asthmasymptomen bei Kindern	Tage	12'308	0	0
Tag mit eingeschränkter Aktivität	Tage	71'513	0	23'088

Tabelle 32: Attributable Fälle pro 10 µg/m³ zusätzlicher Belastung.

A-6.3 Kostensätze

	Einheit	Immaterielle Kosten	Medizinische Behandlungs- kosten	Nettoproduk- tionsausfall	Total
Mortalität	Todes- fall	2'394'509	-	122'013	2'516'521
<i>Verlorene Lebenszeit</i>	<i>Todes- fall</i>	2'394'509	-	-	2'394'509
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>Todes- fall</i>	-	-	117'584	117'584
<i>Wiederbesetzungskosten (Durchschnitt m/f)</i>	<i>Todes- fall</i>	-	-	4'429	4'429
Spitaleintritt wegen Herz- kreislaufkrankungen	Fall	7'316	13'219	7'080	27'615
Spitaleintritt wegen Atem- wegserkrankungen	Fall	5'783	7'055	3'616	16'453
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (18 Jahre)	Fall	114'154	7'024	1'536	122'713
Akute Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	Fall	310	56	19	386
Tag mit Asthmasymptome bei Erwachsenen (18 Jahre)	Tag	74	1	110	184
Tag mit Asthmasymptome bei Kindern (5-17 Jahre)	Tag	74	1	19	94
Tag mit eingeschränkter Ak- tivität (18 Jahre)	Tag	223	-	272	495
Weitere Inputs für die Kostenberechnung					
Mittlere Aufenthaltsdauer in Tagen Atemwegserkrankung					6.91
Mittlere Aufenthaltsdauer in Tagen Herzkreislaufkrankung					8.74
Bei Todesfall durchschnittliche Anzahl verlorene Lebensjahre (Gewichteter Durchschnitt Gesamtbevölkerung)					9.75
Bei Todesfall durchschnittliche Anzahl verlorene Erwerbsjahre					1.18
Erwerbsquote der Verstorbenen (relevant für Wiederbesetzungskosten)					12 %

Tabelle 33: Kostensätze und Inputs für die Berechnung der Mortalitätskosten Erhebungsjahr 2015. Quellen: ARE (2014; 2021) ergänzt mit eigenen Berechnungen

	Einheit	Immaterielle Kosten	Medizinische Behandlungs- kosten	Nettoproduk- tionsausfall	Total
Mortalität	Todes- fall	2'457'150	-	125'301	2'582'450
<i>Verlorene Lebenszeit</i>	<i>Todes- fall</i>	2'457'150	-	-	2'457'150
<i>Verlorene Erwerbszeit</i>	<i>Todes- fall</i>	-	-	120'450	120'450
<i>Wiederbesetzungskosten (Durchschnitt m/f)</i>	<i>Todes- fall</i>	-	-	4'851	4'851
Spitaleintritt wegen Herz- kreislaufkrankungen	Fall	8'827	14'057	8'184	31'067
Spitaleintritt wegen Atem- wegserkrankungen	Fall	6'919	7'440	4'145	18'504
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (18 Jahre)	Fall	121'997	6'935	1'573	130'504
Akute Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	Fall	332	55	18	405
Tag mit Asthmasymptome bei Erwachsenen (18 Jahre)	Tag	79	1	112	192
Tag mit Asthmasymptome bei Kindern (5-17 Jahre)	Tag	79	1	18	97
Tag mit eingeschränkter Ak- tivität (18 Jahre)	Tag	238	-	280	518
Weitere Inputs für die Kostenberechnung					
Mittlere Aufenthaltsdauer in Tagen Atemwegserkrankung					7.74
Mittlere Aufenthaltsdauer in Tagen Herzkreislaufkrankung					9.87
Bei Todesfall durchschnittliche Anzahl verlorene Lebensjahre (Gewichteter Durchschnitt Gesamtbevölkerung)					9.96
Bei Todesfall durchschnittliche Anzahl verlorene Erwerbsjahre					1.18
Erwerbsquote der Verstorbenen (relevant für Wiederbesetzungskosten)					13 %

Tabelle 34: Kostensätze und Inputs für die Berechnung der Mortalitätskosten Erhebungsjahr 2022. Quellen: ARE (2023), BFS (2020a) ergänzt mit eigenen Berechnungen

A-6.4 Luftschadstoffbedingte Kosten

Jahr	Schadstoff	Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten [Mio. CHF]	Gerechnet mit unterer Grenze 95%-Konfidenzintervall der Effektschätzer [Mio. CHF]	Gerechnet mit oberer Grenze 95%-Konfidenzintervall der Effektschätzer [Mio. CHF]
2015	PM25	6'042	4'995	7'095
2022	PM25	5'153	4'259	6'052
2015	NO ₂	4'183	3'446	4'902
2022	NO ₂	1'491	1'228	1'747
2015	O ₃	1'916	454	3'228
2022	O ₃	2'231	532	3'757

Tabelle 35: Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten im OSTLUFT-Gebiet 2015 und 2022, jeweils berechnet mit Effektschätzer sowie der unteren und oberen Grenze der 95%-Konfidenzintervalle der Effektschätzer.