

UMWELT UND GESUNDHEIT

08/2025

Abschlussbericht

Überarbeitung des Luftqualitätsindex des Umweltbundesamtes nach der Herausgabe der Luftqualitätsleitlinien der WHO 2021

von:

Florian Pfäfflin, Antonia Fritz, Volker Diegmann

IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Barbara Hoffmann, Katherine Ogurtsova, Karoline Weik
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin,
Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

Herausgeber:

Umweltbundesamt

UMWELT UND GESUNDHEIT 08/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3722 61 202 0
FB001846

Abschlussbericht

Überarbeitung des Luftqualitätsindex des Umweltbundesamtes nach der Herausgabe der Luftqualitätsleitlinien der WHO 2021

von

Florian Pfäfflin, Antonia Fritz, Volker Diegmann
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Barbara Hoffmann, Katherine Ogurtsova, Karoline Weik
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin,
Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
79110 Freiburg
in Zusammenarbeit mit
Arbeitsgruppe Umweltepidemiologie am Institut für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Heinrich-Heine-Universität
D-40223 Düsseldorf

Abschlussdatum:

März 2025

Redaktion:

Fachgebiet II 1.5 – Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung
Myriam Tobollik

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7990>

ISSN 1868-4340

Dessau-Roßlau, November 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Überarbeitung des Luftqualitätsindex des Umweltbundesamtes nach der Herausgabe der Luftqualitätsleitlinien der WHO 2021

Das hier dokumentierte Projekt hatte die Überarbeitung und Anpassung des nationalen Luftqualitätsindex (LQI) des Umweltbundesamts (UBA) an die WHO-Richtlinien (2021) und an die Novellierung der EU-Luftqualitätsrichtlinie zum Ziel.

Auf Grundlage einer Literaturrecherche und eigener methodischer Arbeiten wurden zwei Vorschläge für die Weiterentwicklung des bestehenden UBA LQI erarbeitet. Sie unterscheiden sich in erster Linie durch die zugrundeliegende Methodik der Klassenableitung, die beim pragmatischen Vorschlag 1 weitgehend auf Richt- oder Schwellenwerten für Luftschadstoffe basiert, während der risikobasierte Vorschlag 2 von der Idee einer vom Schadstoff unabhängigen, gleichhohen Risikosteigerung innerhalb einer Bewertungsklasse geleitet ist (sogenannte Risikoäquivalenz). Beide Vorschläge und der bestehende UBA LQI wurden auf die Messdaten der Beispieljahre 2019 und 2022 angewandt, um den Einfluss auf die Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen zu ermitteln und zu vergleichen.

Für den risikobasierten Index wurden differenziert für zwei Bevölkerungsgruppen (Allgemeinbevölkerung und vulnerable Gruppen) gesundheitsbezogene Verhaltensempfehlungen entwickelt.

Abstract: Revision of the Air Quality Index of the German Environment Agency following the publication of the WHO Air Quality Guidelines 2021

The goal of the project documented here was to revise and adapt the national Air Quality Index (AQI) of the German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) to the World Health Organization's (WHO) air quality guidelines (2021) and the revision of the European Union (EU) Air Quality Directive.

Based on a literature review and own methodological work, two proposals to revise the existing UBA AQI were developed. They primarily differ in the underlying methodology for deriving the thresholds of the air quality categories. The pragmatic Proposal 1 is largely based on guideline and/or threshold values for air pollutants, while the risk-based Proposal 2 follows the idea of an equal increase in risk within each category independent of the pollutant (so-called risk equivalence). Both proposals, along with the current UBA AQI, were applied to measurement data from the example years 2019 and 2022 to determine and compare their impact on the frequency distribution of AQI assessment categories.

For the risk-based index, health-related behavioural recommendations were developed for two population groups (general population and vulnerable groups).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	15
Summary	22
1 Einleitung und Ziele des Projekts	29
2 Recherche bereits existierender LQI	31
2.1 Methoden	31
2.1.1 Formulierung der Forschungsfrage.....	31
2.1.2 Systematische Literatursuche	31
2.1.3 Suche nach grauer Literatur.....	32
2.1.4 Auswahl der LQI	33
2.1.5 Datenextraktion	34
2.2 Ergebnisse der Literaturrecherche.....	35
2.2.1 Identifizierte und ausgewählte LQI.....	35
2.2.2 Rechtsgrundlagen und wissenschaftliche Literatur	37
2.2.3 Allgemeine Informationen	40
2.2.4 Geographische Informationen zu den ausgewählten LQI	43
2.2.5 Methoden der ausgewählten LQI	46
2.2.5.1 Schadstoffe, Datenquellen und Mittelungszeiträume.....	46
2.2.5.2 Anzahl der Bewertungsklassen	50
2.2.5.3 Konstruktion des Gesamtindex.....	51
Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen.....	62
Prognosen, historische Daten	62
2.2.5.4 Umgang mit fehlenden Daten	66
2.2.6 Kommunikation und Nutzung.....	72
2.2.6.1 Kommunikationswege	72
2.2.6.2 Präsentation und Vermittlung	74
2.2.6.3 Visuelle Darstellung der LQI.....	78
2.2.7 Gesundheitsempfehlungen.....	80
2.3 Zusammenfassung und Diskussion der Literaturrecherche.....	82
3 Vorschläge für einen neuen UBA LQI	85
3.1 Kriterien für und Ermittlung von Bewertungsklassen.....	85

3.1.1	Überlegungen zur Indexkonstruktion	85
3.1.2	Normative Dokumente	86
3.1.2.1	EU-Luftqualitätsrichtlinie	86
3.1.2.2	WHO AQG 2021	86
3.2	Empfehlungen für einen neuen LQI	88
3.2.1	Vorschlag 1 – Pragmatischer Ansatz	88
3.2.2	Vorschlag 2 – Risikobasierter Ansatz	89
3.2.2.1	Grundsätzliche Überlegungen	89
3.2.2.2	Eingangsdaten.....	90
3.2.2.3	Indexbildung	90
3.2.2.4	Methodik der Ableitung.....	90
3.2.2.5	Schritt 1: Festlegung von Exposition-Endpunktpaaren.....	91
3.2.2.6	Schritt 2: Literaturrecherche	92
3.2.2.7	Schritt 3: Qualitätsbeurteilung der systematischen Übersichtsarbeiten und Metaanalysen	98
3.2.2.8	Schritt 4: Transformation der Effektschätzer von Tageswerten auf Stundenwerte...	100
3.2.2.9	Schritt 5: Standardisierung der Schadstoffwirkungen auf PM _{2,5} als Referenzschadstoff	104
3.2.2.10	Schritt 6: Festlegung der Klassengrenzen des LQI für PM _{2,5}	111
3.2.2.11	Schritt 7: Anwendung der Klassengrenzen von PM _{2,5} auf die anderen Schadstoffe ..	112
3.2.3	Interaktionsmodul	113
3.2.4	Ableitung von Gesundheitsempfehlungen	115
4	Exemplarische Anwendung und Vergleich	119
4.1	Datengrundlage und Methodik.....	119
4.2	LQI-Vorschlag 1 - Pragmatischer Ansatz	120
4.2.1	Anwendung von LQI-Vorschlag 1.....	120
4.2.2	Vergleich des LQI-Vorschlags 1 mit dem aktuellen UBA LQI	123
4.3	LQI-Vorschlag 2 - Risikobasierter Ansatz.....	125
4.3.1	Anwendung von LQI-Vorschlag 2.....	125
4.3.2	Vergleich des LQI-Vorschlags 2 mit dem aktuellen UBA LQI	127
4.4	Einfluss des Interaktionsmoduls	129
4.5	Zusammenfassender Vergleich aller LQI-Varianten	130
5	Formulierung von Empfehlungen für eine Übernahme in der App Luftqualität und Portal Luftdaten	134
5.1	Rahmenbedingungen und Eigenschaften der beiden Indizes.....	134

5.2	Diskussion der Stärken und Schwächen der beiden im Projekt vorgeschlagenen Indizes .	136
5.2.1	Festlegung der Klassengrenzen	136
5.2.2	Harmonisierung mit dem europäischen AQI	137
5.2.3	Gesundheitliche Endpunkte bei der Indexentwicklung	138
5.2.4	Berechnung des Äquivalenzkoeffizienten.....	139
5.2.5	Berücksichtigung von besonders empfindlichen Gruppen.....	139
5.2.6	Sensitivitätsanalysen.....	140
5.2.7	Veränderung der Rahmenbedingungen während der Projektlaufzeit	140
5.3	Empfehlungen.....	140
6	Quellenverzeichnis	142
A	Literaturrecherche - Weitere LQI	149
B	Alternative Berechnung der Äquivalenzkoeffizienten	152
C	Beispiele für Gesundheitsempfehlungen	153
D	Ergänzende Grafiken und Tabellen zu den Auswertungen der LQI-Vorschläge	173
D.1	Ergänzende Tabellen zu Abbildung 11	173
D.2	Ergänzende Grafiken zu Vorschlag 1.....	176
D.3	Ergänzende Grafiken zu Vorschlag 2.....	177
E	Symposium	178

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Berechnung des Transformationsfaktors	100
Abbildung 2:	Berechnung des Transformationsfaktors für O ₃	101
Abbildung 3:	Berechnung des 1h-Effektschätzers	101
Abbildung 4:	Berechnung des 1h-Effektschätzers für O ₃	101
Abbildung 5:	Berechnung des Äquivalenzkoeffizienten	105
Abbildung 6:	Verteilung der simulierten Äquivalenzkoeffizienten (n = 10000).	108
Abbildung 7:	Auswertung des LQI-Vorschlags 1 für 2019 (links) und 2022 (rechts). (a, b) Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzelbeurteilungen von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den LQI. (c, d) Häufigkeitsverteilung des LQI differenziert nach den Stationstypen. (e, f) Verantwortlichkeit der fünf Stoffe bei der Bildung des LQI differenziert nach den Stationstypen.	122
Abbildung 8:	Vergleich der Häufigkeit der LQI-Klassen zwischen dem aktuellen UBA LQI und dem LQI-Vorschlag 1	124
Abbildung 9:	Auswertung des LQI-Vorschlags 2 für 2019 (links) und 2022 (rechts). (a, b) Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzelbeurteilungen von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den LQI. (c, d) Häufigkeitsverteilung des LQI differenziert nach den Stationstypen. (e, f) Verantwortlichkeit der fünf Stoffe für die Bildung des LQI differenziert nach den Stationstypen.	126
Abbildung 10:	Vergleich der Häufigkeit der LQI-Klassen zwischen dem aktuellen UBA LQI und dem LQI-Vorschlag 2	128
Abbildung 11:	Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen der vier untersuchten Indexvarianten in 2019 (links) und 2022 (rechts) für NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den LQI.	131
Abbildung 12:	Auswertungen des LQI-Vorschlags 1 für 2019 (links) und 2022 (rechts): Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzel-LQIs von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den Gesamt- LQI differenziert nach Stationstypen. Die Überschrift enthält in Klammern die Anzahl an Stationen des jeweiligen Stationstyps.	176
Abbildung 13:	Auswertungen des LQI-Vorschlags 2 für 2019 (links) und 2022 (rechts): Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzel-LQIs von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den Gesamt- LQI differenziert nach Stationstypen. Die Überschrift enthält in Klammern die Anzahl an Stationen des jeweiligen Stationstyps.	177

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorschlag 1 für den pragmatischen LQI	17
Tabelle 2:	Vorschlag 2 für den risikobasierten LQI	18
Tabelle 3:	Vorschlag zu Verhaltensempfehlungen für den risikobasierten LQI.....	20
Table 4:	Proposal 1 for pragmatic AQI	24
Table 5:	Proposal 2 for risk-based AQI	25
Table 6:	Proposed behavioral recommendations for the new AQI	27
Tabelle 7:	Auswahl der LQI - Gründe für Aufnahme und Ausschluss.....	34
Tabelle 8:	Überblick über die ausgewählten LQI	35
Tabelle 9:	Rechtsgrundlagen und referenzierte Literatur der LQI	37
Tabelle 10:	Allgemeine Informationen zu den ausgewählten LQI - Aktualität, Anbietende, Sprache und URL	40
Tabelle 11:	Geographische Informationen und Art der Messstationen	43
Tabelle 12:	Methodische Aspekte der ausgewählten LQI – genutzte Schadstoffe, Datenquellen und Berücksichtigung der WHO AQG 2021.....	47
Tabelle 13:	Genutzte Mittelungszeiten für NO ₂ , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ und SO ₂ ..	49
Tabelle 14:	Grundlagen der Festlegung der Bewertungsklassen.....	51
Tabelle 15:	Bewertungsklassen des UBA LQI	57
Tabelle 16:	Bewertungsklassen des belgischen LQI, unter Berücksichtigung der WHO AQG 2021.....	58
Tabelle 17:	Empfehlungen, die den PAQI-Schwellenwerten zugrunde liegen (Plume 2023)	61
Tabelle 18:	Methodische Informationen - Vorhersage, historische Daten, langfristige Informationen.....	63
Tabelle 19:	Erforderliche Daten und Datenumgang	68
Tabelle 20:	Kommunikationswege, Nutzerdaten und Aktualisierungshäufigkeit der Webseiten und Apps	72
Tabelle 21:	Allgemeine Präsentation und Vermittlung der LQI	75
Tabelle 22:	PAQI-Werte und die entsprechende Zeit für eine ungefährliche Exposition (Plume Labs by AccuWeather)	78
Tabelle 23:	Inhalt der Gesundheitsempfehlungen.....	81
Tabelle 24:	Richtwerte und Zwischenziele der WHO AQG 2021 für langfristige (jährlicher Mittelwert) und kurzfristige (24h- oder 8h-Mittelwerte) Schadstoffbelastung (WHO global air quality guidelines 2021). Richtwerte aus den WHO AQG 2005 für kürzere Mittelungszeiten wurden nicht überarbeitet und gelten weiterhin (WHO Air quality guidelines 2006).....	87
Tabelle 25:	Vorschlag 1 für den pragmatischen LQI	89

Tabelle 26:	Relative Risiken als zusätzliche Fälle in Prozent bei kurzfristiger Schadstoffbelastung (24h- oder 8h-Mittelwerte) pro 10 µg/m ³ Konzentrationserhöhung.....	96
Tabelle 27:	Erfasste lag-Perioden in ausgewählten Studien	97
Tabelle 28:	Anzahl an Messstationen pro Stoff und Jahr.....	101
Tabelle 29:	Transformationsfaktoren für Messwerte in Deutschland, 2019 und 2022, alle Stationstypen.....	103
Tabelle 30:	1h-Effektschätzer (Prozent zusätzliche Fälle) pro 10 µg/m ³ Konzentrationserhöhung.....	104
Tabelle 31:	Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff und Endpunkt pro 10 µg/m ³ Konzentrationserhöhung.....	105
Tabelle 32:	Punktschätzung und 95%-Konfidenzintervalle der Relativen Risiken als zusätzliche Fälle in Prozent bei kurzfristiger Schadstoffbelastung (24h- oder 8h-Mittelwerte) pro 10 µg/m ³ Konzentrationserhöhung und die Kennwerte der Verteilungen in der Simulation	107
Tabelle 33:	Statistische Kenngrößen der simulierten Äquivalenzkoeffizienten (n = 10000).....	108
Tabelle 34:	Informations- und Alarmschwellen aus dem Trilog-Kompromiss und angepasste Äquivalenzkoeffizienten (EU-Parlament 2024)	111
Tabelle 35:	Risikobasierter UBA LQI, inklusive der Klassengrenzen und Äquivalenzkoeffizienten	112
Tabelle 36:	Beispiel Eins für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.....	114
Tabelle 37:	Beispiel Zwei für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.....	114
Tabelle 38:	Beispiel Drei für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.....	115
Tabelle 39:	Vorschlag zu Verhaltensempfehlungen für den risikobasierten LQI.....	116
Tabelle 40:	Anzahl an Messstationen pro Stoff und Jahr.....	119
Tabelle 41:	Zuordnung der Messstationen zu einem Stationstyp basierend auf den Metadaten "Art der Station" und "Stationsumgebung" und Anzahl der Stationen, die im jeweiligen Jahr in die entsprechende Kategorie fallen	120
Tabelle 42:	Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien des Vorschlags 1 für die Einzelbeurteilungen von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den LQI für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	121
Tabelle 43:	Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien des Vorschlags 2 für die Einzelbeurteilungen von NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} und PM ₁₀ und den LQI für 2019 (2022).....	125

Tabelle 44:	Häufigkeit der Aktivierung des Interaktionsmoduls in Stunden und in Prozent für die vier getesteten Definitionen des Interaktionsmoduls. Das 50 %-Kriterium ist die Variante, die letztendlich angewendet wurde.....	129
Tabelle 45:	Haupteigenschaften der beiden Indexvarianten.....	134
Tabelle 46:	Überblick über die LQI, die nicht für die nähere Betrachtung ausgewählt wurden	149
Tabelle 47:	Gesundheitsempfehlungen in den ausgewählten LQI	153
Tabelle 48:	Zahlenwerte für NO ₂ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	173
Tabelle 49:	Zahlenwerte für O ₃ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	173
Tabelle 50:	Zahlenwerte für SO ₂ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	173
Tabelle 51:	Zahlenwerte für PM _{2,5} in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	174
Tabelle 52:	Zahlenwerte für PM ₁₀ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).	174
Tabelle 53:	Zahlenwerte für den Gesamt-LQI in Abbildung 11 für 2019 (2022).	174

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AP	Arbeitspaket
AQHI	Air Quality Health Index (Luftqualitäts-Gesundheitsindex)
AQI	Air Quality Index (Luftqualitätsindex)
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BW	Baden-Württemberg
CAI	Comprehensive Air-Quality Index (Umfassender Luftqualitätsindex)
CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service (Kopernikus-Atmosphärenüberwachungsdienst)
CHMI	Czech Hydrometeorological Institute (Tschechisches Hydrometeorologisches Institut)
CO	Kohlenstoffmonoxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (chronisch obstruktive Lungenerkrankung)
CVD	Cardiovascular Diseases (Herz-Kreislauf-Erkrankungen)
DAQI	Daily Air Quality Index (Täglicher Luftqualitätsindex)
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EG	Europäische Gemeinschaft
EK	Europäische Kommission
EK Entwurf 2022	Entwurf der Europäischen Kommission für die Novelle der Luftqualitätsrichtlinie von 2022 (Europäische Kommission 2022)
EPA	Environmental Protection Agency (Umweltschutzbehörde)
EU	Europäische Union
GMW	Gleitender Mittelwert
h	Hour (Stunde)
IDW	Inverse Distance Weighted (Inverse Distanzgewichtung)
JLQI	Jährlicher Luftqualitätsindex
LQI	Luftqualitätsindex
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NSW	Neusüdwaales
O ₃	Ozon
PAQI	Plume Air Quality Index (Plume Luftqualitätsindex)
PM	Particulate matter (Feinstaub)
PM ₁₀	Feinstaub mit einer Korngröße ≤ 10 µm
PM _{2,5}	Feinstaub mit einer Korngröße ≤ 2.5 µm
SO ₂	Schwefeldioxid

Abkürzung	Erläuterung
U.K.	United Kingdom (Vereinigtes Königreich)
UBA	Umweltbundesamt
URL	Uniform Resource Locator (Einheitlicher Ressourcenverortter)
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WHO AQG	World Health Organization Air Quality Guidelines (Richtlinien der Weltgesundheitsorganisation zur Luftqualität)

Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt die Aktivitäten, die im Rahmen des Überarbeitungsprozesses des nationalen Luftqualitätsindex (LQI) des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführt wurden.

Die Luftqualität ist ein entscheidender Gesundheitsfaktor, da schon kurzfristige Erhöhungen von Schadstoffkonzentrationen gesundheitliche Probleme wie Atemwegssymptome, Asthmaanfälle, kardiovaskuläre Ereignisse und sogar Todesfälle verursachen können. Luftqualitätsindizes sind öffentlich zugängliche „Instrumente“, die die Luftqualität anhand von Schadstoffkonzentrationen bewerten und Empfehlungen für gesundheitsbezogenes Verhalten geben.

Das hier vorliegende Projekt hatte die Überarbeitung und Anpassung des nationalen LQI des UBA an die WHO-Richtlinien (2021) und an die Novellierung der EU-Luftqualitätsrichtlinie (EU, 2008) zum Ziel. Der Bericht dokumentiert die Forschungsergebnisse, Indexvorschläge, Datenauswertungen und Empfehlungen für einen neuen LQI, wobei auch Erkenntnisse aus einem Symposium mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesumweltämter einbezogen wurden.

Der erste Schritt in der Projektbearbeitung war eine Literaturrecherche, um nationale und internationale LQI zu identifizieren und deren Methodik zu analysieren. Diese Recherche wurde in zwei wissenschaftlichen Literaturdatenbanken sowie mittels manueller Suche in der grauen Literatur durchgeführt. Mit der Literaturrecherche wurde eine Basis für die Weiterentwicklung des UBA LQI gelegt. Ziel war es, möglichst unterschiedliche Methoden der LQI-Konstruktion und Kommunikation gegenüber der Bevölkerung zu erfassen und daraus Empfehlungen für die Weiterentwicklung des UBA LQI zu generieren. Bei der Recherche wurden insgesamt 75 LQI identifiziert.

Für die weitere Auswertung wurden von diesen 75 identifizierten LQI 24 verschiedene LQI ausgewählt und zusammen mit dem UBA LQI bezüglich ihrer Eigenschaften untersucht. Es zeigte sich insgesamt eine große Vielfalt an Methoden der Indexkonstruktion und der Darstellungsweisen, wobei im Wesentlichen zwei Methoden der LQI-Konstruktion zur Anwendung kommen. Eine Gruppe von LQI erstellt Einzelbewertungen für die im LQI enthaltenen Schadstoffe und weist dem LQI den höchsten Einzelwert zu. Die andere Gruppe von LQI addiert die gebildeten Einzelbewertungen auf. Innerhalb dieser zwei Hauptkategorien von Indizes gibt es eine Vielzahl von individuellen Ausgestaltungen hinsichtlich der Skalierung, Anzahl der Bewertungsklassen, visuellen Darstellungsweisen und Verhaltensempfehlungen. Die Skalierung und Festlegung der Grenzen von Bewertungsklassen orientiert sich häufig an den Empfehlungen der WHO-Richtwerte zur Luftqualität von 2005 (WHO AQG 2005). Die gesundheitlichen Empfehlungen werden meist in vier bis sechs Kategorien abgestuft und beziehen sich überwiegend auf die körperliche Aktivität. Die meisten LQI stellen die Ergebnisse grafisch in Form von farbigen Kreisen, Piktogrammen, Tachometern o. ä. dar. Viele Indizes sind, basierend auf der Lage der jeweiligen Messstation, vor einem Kartenhintergrund räumlich differenziert dargestellt. Andere LQI stellen die Daten flächig interpoliert in Form von Belastungskarten dar.

Anmerkung

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.

Bei der Überarbeitung des UBA LQI sollten einige Rahmenbedingungen beachtet werden: Grundlegende Eigenschaften des aktuellen UBA LQI wie Klassenzahl (fünf), Bezeichnung der Bewertungsklassen („sehr gut“, „gut“, „mäßig“, „schlecht“ und „sehr schlecht“), Farbschema, räumliche Gültigkeit und Umgang mit sowie Darstellung von fehlenden Messwerten sollten möglichst beibehalten werden. Ein Fokus sollte auf die stündliche Aktualisierung der Bewertung und der dazugehörigen Empfehlungen gelegt werden, um kurzfristige Belastungsspitzen besser berücksichtigen und die Luftqualität zeitnah bewerten zu können. Diese Anpassung soll eine schnelle Kommunikation von Gesundheitsrisiken und präventive Verhaltensänderungen ermöglichen. Darüber hinaus sollten gemäß der Novellierung der EU-Luftqualitätsrichtlinie die überarbeiteten und deutlich strengeren WHO-Richtwerte aus dem Jahr 2021 (WHO AQG 2021) berücksichtigt werden (WHO global air quality guidelines 2021) sowie zwingend die Schadstoffe PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃ und SO₂ einbezogen werden. Letzterer war bisher nicht im UBA LQI enthalten.

Darüber hinaus sollte der neue Index auch speziell auf die Bedürfnisse vulnerabler Bevölkerungsgruppen eingehen und optional Mehrfachbelastungen berücksichtigen. Dies entspricht den Anforderungen des Entwurfs der Europäischen Kommission zur Luftqualitätsrichtlinie aus dem Jahr 2022 (Europäische Kommission 2022).

Auf der Grundlage der Literaturrecherche und eigener methodischer Arbeiten wurden zwei Vorschläge für die Weiterentwicklung des bestehenden UBA LQI erarbeitet. Dabei wurde die grundsätzliche Konstruktion des UBA LQI beibehalten, bei der sowohl eine Beurteilung für einzelne Schadstoffe vorgenommen wird als auch eine Beurteilung für den Gesamtindex, die wiederum der Beurteilung des schlechtesten Einzelschadstoffwertes entspricht. Vorschlag 1 für einen neuen LQI besteht in einem pragmatischen Ansatz. Dies bedeutet, es wurden bestehende Grenzwerte, Richtwerte, Zielwerte und Alarm- oder Informationsschwellen genutzt, um die Klassengrenzen für die einzelnen Schadstoffe zu definieren. Für die Grenze zwischen „sehr gut“ und „gut“ wurden die WHO-Richtwerte von 2021 für den Jahresmittelwert (bei O₃ der sogenannte „peak season“ Mittelwert) der jeweiligen Schadstoffe genutzt. Für SO₂ gibt es keinen Langzeitrichtwert der WHO, weshalb hier der Kurzzeitwert für 24h halbiert wurde. Für die Grenze zwischen „gut“ und „mäßig“ wurden die WHO-Richtwerte von 2021 für die Tagesmittelwerte (bei O₃ der maximale 8h-Mittelwert) der jeweiligen Schadstoffe genutzt. Für die Grenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ wurden die Alarmschwellen aus dem Entwurf von 2022 für die novellierte EU-Luftqualitätsrichtlinie genutzt. Die noch verbleibende Grenze zwischen „mäßig“ und „schlecht“ wurde pragmatisch definiert, wobei das untere Intervall kleiner als das obere Intervall sein sollte.

Die Klassengrenzen des Vorschlags 1 basierend auf dem pragmatischen Ansatz können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Vorschlag 1 für den pragmatischen LQI

Stundenmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
Index	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	SO ₂
sehr schlecht ¹	>200	>90	>50	>240	>500
schlecht	101-200	66-90	31-50	171-240	151-500
mäßig	26-100	46-65	16-30	101-170	41-150
gut ²	11-25	16-45	6-15	61-100	21-40
sehr gut ³	0-10	0-25	0-5	0-60	0-20 ⁴

¹ Untere Klassengrenze Alarmschwelle nach dem Entwurf für die Novelle der Luftqualitätsrichtlinie von 2022 (Europäische Kommission 2022) für 1h-Wert (Ozon, SO₂) bzw. Tagesmittelwerte (Kalendertag) für PM

² Obere Klassengrenze WHO AQD 2021 Kurzzeitwert für 24h (für O₃: maximaler 8h-Wert)

³ Obere Klassengrenze WHO AQD 2021 Langzeitwert (für O₃: peak season Mittelwert)

⁴ SO₂ WHO AQG 2021 24h-Wert für SO₂ multipliziert mit 0.5

Der Vorschlag 2 für einen LQI berücksichtigt das Erkrankungsrisiko durch verschiedene Luftschadstoffe. Die grundlegende Idee dieses LQI ist, dass das Risiko für die selektierten gesundheitlichen Auswirkungen in jeder Bewertungsklasse unabhängig vom jeweiligen Schadstoff gleich ist. Die Bewertungsklassen sind somit risikoäquivalent. Dieser risikobasierte Index basiert auf linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen zur kurzfristigen Wirkung von Luftschadstoffen im Hinblick auf verschiedene Gesundheitsendpunkte.

Die Ableitung des risikobasierten UBA LQI beruht auf einer Adaptation der Methodik, die für den niederländischen Index (Dusseldorp et al. 2014) entwickelt wurde:

1. Festlegung von Expositions-Endpunktpaaren (nachgewiesene oder wahrscheinliche Kausalität, Public Health Relevanz)
2. Literaturrecherche zu epidemiologischen Übersichtsarbeiten zu Gesundheitseffekten für die festgelegten Expositions-Endpunktpaare
3. Qualitätsbeurteilung der Übersichtsarbeiten und Extraktion bzw. Berechnung der Effektschätzer für die festgelegten Expositions-Endpunktpaare
4. Transformation von Effektschätzern für Tagesmittelwerte in Effektschätzer für Stundenwerte
5. Standardisierung der Schadstoffwirkungen auf PM_{2.5} als Referenzschadstoff, da für PM_{2.5} die umfangreichste wissenschaftliche Evidenz für Expositions-Wirkungsbeziehungen vorliegt
6. Festlegung von Bewertungsklassen für PM_{2.5} mittels WHO AQG 2021
7. Berechnung von risikoäquivalenten Bewertungsklassen für die anderen Schadstoffe, und medizinisch-epidemiologische Überprüfung und Anpassung der obersten Klassengrenzen für alle Schadstoffe an die jeweiligen Alarm- bzw. Informationsschwellen.

Der Vorschlag des risikobasierten LQI ist somit einerseits risikobasiert und gesundheitlich begründet, nutzt aber andererseits als Ankerpunkte wissenschaftlich abgeleitete Empfehlungen (WHO AQG 2021 für PM_{2.5}) in den beiden unteren Bewertungsklassen und gesetzlich festgelegte Alarm- und Informationsschwellen in der obersten Bewertungsklasse.

Die Klassengrenzen des risikobasierten Vorschlags 2 können Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Vorschlag 2 für den risikobasierten LQI

Index	Stundenmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	SO ₂
sehr schlecht	>100	>90	>50	>240	>100
schlecht	61-100	55-90	31-50	145-240	61-100
mäßig	31-60	28-54	16-30	73-144	31-60
gut	11-30	10-27	6-15	25-72	11-30
sehr gut	0-10	0-9	0-5	0-24	0-10

Die beiden Ansätze unterscheiden sich in erster Linie durch die zugrundeliegende Methodik der Klassenableitung. Diese basiert beim pragmatischen Index weitgehend auf von der WHO bzw. der EU festgelegten Richt- oder Schwellenwerten, ergänzt um pragmatische Festlegungen von Klassengrenzen. Im Unterschied dazu ist der risikobasierte LQI von der Idee einer vom Schadstoff unabhängigen, gleichhohen Risikosteigerung für gesundheitliche Wirkungen innerhalb einer Bewertungsklasse geleitet (Risikoäquivalenz).

Der bestehende UBA LQI und die beiden entwickelten LQI-Vorschläge wurden auf die Messdaten der Beispieljahre 2019 und 2022 angewandt. Ziel der Anwendung war es, den Einfluss der angepassten Klassengrenzen auf die Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen zu ermitteln und zwischen den Vorschlägen zu vergleichen. Des Weiteren wurde eine sogenannte „Verantwortlichkeit“ der einzelnen Schadstoffe zum jeweiligen LQI ermittelt, um die Bedeutung der einzelnen Schadstoffe für den LQI beurteilen zu können. Dabei gilt ein Stoff als (mit-)verantwortlich für den LQI, wenn seine Einzelbeurteilung gleich dem LQI ist.

Als Datengrundlage für die Anwendung der LQI-Vorschläge dienten die Stunden-Mittelwerte von NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ und PM_{2.5}, die an den Messstationen der Messnetze der Bundesländer und des UBA ermittelt wurden. Für die Bestimmung des aktuellen UBA LQI wurden zudem gleitende 24-Stunden-Mittelwerte von PM₁₀ und PM_{2.5} verwendet. Im Jahr 2019 liegen Daten von insgesamt 439 Messstationen vor, im Jahr 2022 von 433 Messstationen. Da nur wenige dieser Stationen alle fünf Stoffe messen, liegen für jeden Stoff unterschiedlich viele Zeitreihen vor.

Für alle LQI-Varianten wurden jeweils die Einzelbeurteilungen der Stoffe bestimmt und der jeweilige LQI als der schlechteste Beurteilungswert aller für das entsprechende Zeitintervall gemessenen Stoffe definiert. Der LQI wurde gebildet, sobald mindestens ein Beurteilungswert vorliegt.

Beim aktuellen UBA LQI tritt am häufigsten die Kategorie „gut“ auf. Dies bleibt bei beiden neuen LQI-Vorschlägen bestehen. Die Kategorie „sehr gut“, welche im aktuellen UBA LQI am zweithäufigsten vorkommt, nimmt bei den neuen LQI-Vorschlägen hingegen stark ab. Diese Abnahme ist beim risikobasierten Vorschlag 2 deutlich stärker als beim pragmatischen Vorschlag 1. Die Kategorie „mäßig“ tritt im aktuellen UBA LQI am dritthäufigsten auf. Sie erfährt in den LQI-Vorschlägen eine starke Zunahme, die bei Vorschlag 1 geringfügig schwächer ausfällt. Die Kategorie „schlecht“ findet unter dem aktuellen UBA LQI nur sehr geringe Anwendung und wird unter Vorschlag 1 sogar noch seltener. Unter Vorschlag 2 hingegen nimmt sie deutlich zu. Die Kategorie „sehr schlecht“ ist im aktuellen UBA LQI extrem selten. Unter den neuen LQI-Vorschlägen bleibt sie mit unter 1% der Fälle weiterhin sehr selten, wobei die Zunahme unter Vorschlag 2 stärker ist als unter Vorschlag 1.

Beide Vorschläge bringen also über alle Stationen und alle Stunden betrachtet eine Verschiebung der an die Bevölkerung zu kommunizierenden Indexwerte hin zu schlechteren Klassen mit sich, die unter dem risikobasierten Vorschlag 2 stärker ausfällt als unter dem pragmatischen Vorschlag 1. Für die Unterschiede zwischen den neuen Vorschlägen und dem aktuellen UBA LQI sind sowohl die geänderten Klassengrenzen als auch der veränderte Mittelungszeitraum für PM₁₀ und PM_{2.5} verantwortlich.

Des Weiteren wurde untersucht, wie die Anwendung der verschiedenen LQI-Vorschläge die Häufigkeitsverteilungen der LQI-Klassen an unterschiedlichen Stationstypen beeinflusst. Hierfür wurden die Stationen entsprechend ihrer Stationsart und ihrer Stationsumgebung in vier Stationstypen unterteilt: „Städtischer Hintergrund“, „Ländlicher Hintergrund“, „Verkehr“ und „Industrie“.

Erwartungsgemäß weisen die Verkehrsstationen die meisten schlechten Bewertungen und mit über 70 % die höchste (Mit-)Verantwortlichkeit von NO₂ für den LQI auf. Trotz dieser Dominanz von NO₂ an Verkehrsstationen ist über alle Stationen hinweg gesehen O₃ insbesondere beim risikobasierten Vorschlag 2 ähnlich wichtig wie NO₂. O₃ bestimmt bei beiden Vorschlägen im ländlichen Hintergrund klar den LQI und auch an den Stationen des städtischen Hintergrunds und an Industriestationen ist O₃ häufig (mit-)verantwortlich für den LQI. Der Einfluss der beiden PM-Werte variiert zwischen den Stationstypen weniger als der Einfluss von NO₂ und O₃. In Vorschlag 1 ist PM₁₀ seltener (mit-)verantwortlich als PM_{2.5}, während es sich bei Vorschlag 2 andersrum verhält. Dieser Unterschied resultiert aus den strengeren Klassengrenzen für PM₁₀ im risikobasierten Vorschlag 2.

Auf Basis der aktualisierten Klassengrenzen und der daraus folgenden Bewertungsklassen wurden für den risikobasierten Index gesundheitsbezogene Verhaltensempfehlungen und Begründungen für diese Verhaltensempfehlungen entwickelt. Die Verhaltensempfehlungen sind bezüglich der Empfindlichkeit für Wirkungen von Luftschadstoffen in zwei verschiedene Bevölkerungsgruppen differenziert (Allgemeinbevölkerung und vulnerable Gruppen wie Vorerkrankte, alte oder sehr junge Menschen sowie Schwangere). Aufgrund des vorgesehenen Einsatzes des Index zur kurzfristigen Verhaltensanpassung stehen bei den Verhaltensempfehlungen die kurzfristigen Wirkungen im Vordergrund.

Für jede Bewertungsklasse werden allgemeine Hinweise zur Risikoerhöhung und zu gesundheitsbezogenem Verhalten gegeben. Darüber hinaus werden Empfehlungen zur Reduktion von Emissionen gegeben. Die allgemeinen Hinweise enthalten Aussagen über die Luftqualität, die Risikoerhöhungen und die betroffenen Bevölkerungsgruppen. Die sonstigen Verhaltenshinweise geben allgemeine Ratschläge zur Vermeidung oder Reduktion von Emissionen, die sich vor allem auf den Verkehr, auf das Heizen und auf die Nutzung von Verbrennungsmotoren außerhalb des Verkehrssektors beziehen.

Die Vorschläge zu Verhaltensempfehlungen für den risikobasierten LQI finden sich in Tabelle 3.

Tabelle 3: Vorschlag zu Verhaltensempfehlungen für den risikobasierten LQI

Index	Risiko	Gesundheitsverhalten		Sonstige Verhaltenshinweise ¹
		Allgemeinbevölkerung	Besonders empfindliche Gruppen	
Sehr schlecht	Die momentane Luftqualität ist sehr schlecht. Gesundheitliche Beschwerden können auftreten. Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Kinder und ältere Personen, aber auch bei gesunden Menschen können Beschwerden auftreten.	Verlagern Sie körperlich anstrengende Aktivitäten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität reduzieren.	Vermeiden Sie körperliche Anstrengung im Freien. Verlagern Sie körperlich anstrengende Tätigkeiten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität beenden und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt Ihre Medikamente besprechen.	Damit die Luftbelastung nicht weiter ansteigt und wieder besser wird, können Sie selber dazu beitragen, indem Sie Ihr Auto zu Hause lassen. Benutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel und legen Sie kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurück. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren. Verbrennen Sie kein Holz in Öfen oder Kaminen und verzichten Sie auf jede Art von Feuer im Freien.
Schlecht	Die momentane Luftqualität ist schlecht. Gesundheitliche Beschwerden können auftreten. Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Kinder und ältere Personen.	Wenn Sie draußen Sport treiben, sollten Sie eine Gegend mit besserer Luftqualität (z. B. wenig Verkehr) bevorzugen. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität reduzieren.	Verlagern Sie körperlich anstrengende Aktivitäten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität oder reduzieren Sie Ihre körperliche Anstrengung. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität beenden und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt Ihre Medikamente besprechen.	Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.
Mäßig	Die momentane Luftqualität ist mäßig. Ein Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden ist bei besonders empfindlichen Menschen möglich.	Genießen Sie Ihre üblichen Aktivitäten im Freien.	Wenn Sie draußen Sport treiben, sollten Sie eine Gegend mit besserer Luftqualität (z. B. wenig Verkehr)	Damit die Luftbelastung weiterhin mäßig bleibt oder wieder besser wird, können Sie selber dazu beitragen, indem Sie Ihr Auto zu Hause

Index	Risiko	Gesundheitsverhalten		Sonstige Verhaltenshinweise ¹
	Allgemeine Hinweise	Allgemeinbevölkerung	Besonders empfindliche Gruppen	
	Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislaufkrankungen.		bevorzugen und auf mögliche Beschwerden achten. Bei wiederholten Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Anstrengung reduzieren und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt Ihre Medikamente besprechen.	lassen. Benutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel und legen Sie kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurück. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren. Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich möglichst keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.
Gut	Die momentane Belastung mit Luftschadstoffen ist gering. Es sind kaum kurzfristige gesundheitliche Beschwerden durch Luftschadstoffe zu erwarten. Allerdings sind bei langfristiger Belastung auf diesem Niveau Auswirkungen auf chronische Erkrankungen nicht ausgeschlossen.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Damit die Luftbelastung weiterhin so gut bleibt, können Sie selber dazu beitragen indem Sie Ihr Auto zu Hause lassen, öffentliche Verkehrsmittel benutzen und kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren. Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich möglichst keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.
Sehr gut	Die momentane Belastung mit Luftschadstoffen ist sehr gering. Es sind keine gesundheitlichen Beschwerden durch Luftschadstoffe zu erwarten.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	

¹ Die Empfehlungen für die „Sonstigen Verhaltensweisen“ wurden überwiegend aus dem Schweizer Luftqualitätsindex und den Empfehlungen der WHO zur Gestaltung von Luftqualitätsindizes übernommen (König Minger et al. 2020; WHO 2023)

Im Hinblick auf den präventiven Gesundheitsschutz wird empfohlen, den risikobasierten Index als künftigen LQI für Deutschland zu verwenden.

Summary

This report describes the activities carried out as part of the revision process of the German Environment Agency's (Umweltbundesamt, UBA) national Air Quality Index (AQI).

Air quality is a crucial health factor, as even short-term increases in pollutant concentrations can cause health problems such as respiratory symptoms, asthma attacks, cardiovascular events, and even deaths. Air quality indices are publicly accessible "tools" that assess air quality based on pollutant concentrations and provide recommendations for health-related behavior.

The goal of the project presented here was to revise and adapt the UBA's national AQI to the air guidelines of the World Health Organization (WHO, 2021) and the revision of the Air Quality Directive of the European Union (EU, 2008). The report documents the research findings, AQI proposals, data evaluations, and recommendations for a new AQI. Insights from a symposium with representatives from state environmental agencies were incorporated during the process.

The first task of the project was a literature review to identify national and international AQIs and to analyze their methodologies. This review was conducted in two scientific literature databases and via a manual search in gray literature. The literature review provided a foundation to further develop the UBA AQI. The review aimed to identify as many different methodologies of AQI construction and communication to the public as possible and to use this information to generate recommendations for the revision of the UBA AQI. A total of 75 AQIs were identified in the review.

From these 75 identified AQIs, 24 different AQIs were selected for further evaluation and examined alongside the current UBA AQI. Overall, a wide variety of methods of index construction and presentation were found, with two main methods of AQI construction being applied. One group of AQIs creates individual assessments for the pollutants included in the AQI and assigns the highest individual value to the AQI. The other group of AQIs adds up the individual assessments. Within these two main categories of indices, there are various individual designs in terms of scaling, number of categories, visual representation, and behavioral recommendations. The scaling and definition of category thresholds are often based on the WHO Air Quality Guidelines from 2005 (WHO AQG 2005). Health recommendations are usually graduated into four to six categories and primarily refer to physical activity. Most AQIs present the results graphically in the form of colored circles, pictograms, tachometers, etc. Many indices are displayed in front of a background map based on the location of the respective monitoring stations. Other AQIs display the data as spatially interpolated maps.

Note

In the text, points are used as decimal separators.

When revising the UBA AQI, some general conditions had to be taken into account: fundamental characteristics of the current UBA AQI, such as the number of categories (five), the naming of the categories ("very good," "good," "moderate," "poor," and "very poor"), the color scheme, the spatial validity, and the handling and representation of missing measurement data were to be retained as far as possible. A focus was to be put on hourly updates of the assessment and the associated recommendations to better account for short-term pollution peaks and to allow for timely air quality evaluations. This adjustment aims to enable quick communication of health risks and preventive behavioral changes. Furthermore, in line with the revision of the EU Air Quality Directive, the revised and significantly stricter WHO guideline values from 2021 (WHO AQG 2021) were to be taken into account. The consideration of the pollutants PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃, and SO₂ was also a requirement, with SO₂ not being included in the current UBA AQI.

Additionally, the new index should specifically address the needs of vulnerable population groups and optionally consider multiple pollution exposures. This is also in line with the requirements of the European Commission's draft of the revised Air Quality Directive from 2022 (European Commission 2022).

Based on the literature review and own methodological work, two proposals were formulated to revise the current UBA AQI. The fundamental design of the UBA AQI was retained and an assessment is provided for individual pollutants as well as an overall assessment. The latter corresponds to the assessment of the worst individual pollutant value. Proposal 1 for a new AQI follows a pragmatic approach. Existing limit values, guideline values, target values, and alert or information thresholds were used to define the category thresholds for individual pollutants. For the threshold between "very good" and "good", the WHO guideline values from 2021 for the annual mean (for O₃, the so-called "peak season" average) of the respective pollutants were used. As there is no WHO long-term guideline value for SO₂, the short-term 24-hour value was halved. For the threshold between "good" and "moderate", the WHO guideline values from 2021 for the daily mean (for O₃, the maximum 8-hour average) of the respective pollutants were used. For the threshold between "poor" and "very poor", the alert thresholds from the 2022 draft of the revised EU Air Quality Directive were used. The remaining thresholds between "moderate" and "poor" were defined pragmatically, with the lower interval being smaller than the upper interval.

The category thresholds of Proposal 1, based on the pragmatic approach, can be found in Table 4.

Table 4: Proposal 1 for pragmatic AQI

Index	Hourly mean values in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	SO ₂
Very poor ¹	>200	>90	>50	>240	>500
Poor	101-200	66-90	31-50	171-240	151-500
Moderate	26-100	46-65	16-30	101-170	41-150
Good ²	11-25	16-45	6-15	61-100	21-40
Very good ³	0-10	0-25	0-5	0-60	0-20 ⁴

¹ Lower category limit is an alert threshold according to the Draft of the revised Air Quality Directive from 2022 (European Commission 2022) for 1h value (O₃, SO₂) or daily average values (calendar day) for PM

² Upper category limit is WHO AQG 2021 short-term value for 24h (for O₃: maximum 8h value)

³ Upper category limit is WHO AQG 2021 long-term value (for O₃: peak season average)

⁴ SO₂ WHO AQG 2021 24h-Wert for SO₂ multiplied with 0.5

Proposal 2 for an AQI takes into account the risk of diseases caused by various air pollutants. The fundamental idea of this AQI is that the risk of the selected health effects is the same in each assessment category, regardless of the pollutant. The assessment categories are therefore risk-equivalent. This risk-based index is built on linear exposure-response relationships for the short-term effect of air pollutants with respect to various health endpoints.

The construction of the risk-based UBA AQI is based on an adaptation of the methodology developed for the Dutch index (Dusseldorp et al. 2014):

1. Definition of exposure-outcome pairs (proven or probable causality, public health relevance)
2. Literature search of epidemiological reviews on health effects for the specified exposure-outcome pairs
3. Quality assessment of the reviews and extraction or calculation of effect estimates for the specified exposure-outcome pairs
4. Transformation of daily effect estimations to hourly effect estimations
5. Standardization of the pollutant effects to PM_{2.5} as reference pollutant, as the most extensive scientific evidence for exposure-response relationships is available for PM_{2.5}
6. Definition of assessment categories for PM_{2.5} using the WHO AQG 2021
7. Calculation of risk-equivalent assessment categories for the other pollutants; medical and epidemiological review and adjustment of the upper category thresholds for all pollutants to the respective alert or information thresholds

On one hand, the risk-based AQI proposal is therefore risk-based and health-oriented, but on the other hand it uses scientifically derived recommendations (WHO AQG 2021 for PM_{2.5}) as anchor points in the two lowest assessment categories and legally defined alert and information thresholds in the highest assessment category.

The category thresholds of the risk-based AQI can be found in Table 5.

Table 5: Proposal 2 for risk-based AQI

Index	Hourly mean values in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	SO ₂
Very poor	>100	>90	>50	>240	>100
Poor	61-100	55-90	31-50	145-240	61-100
Moderate	31-60	28-54	16-30	73-144	31-60
Good	11-30	10-27	6-15	25-72	11-30
Very good	0-10	0-9	0-5	0-24	0-10

The two proposals differ primarily in the underlying methodology for deriving the assessment categories. The pragmatic index is largely based on guideline and/or threshold values set by the WHO or the EU, supplemented by pragmatic definitions of category thresholds. In contrast, the risk-based AQI is guided by the idea of equal increases in health risk within each assessment category, independent of the pollutant (risk equivalence).

The current UBA AQI and the two developed AQI proposals were applied to measurement data of the example years 2019 and 2022. The aim of this application was to determine the impact of the adjusted category thresholds on the frequency distribution of AQI categories and to compare them between the proposals. Additionally, a so-called "responsibility" of individual pollutants for the respective AQI was determined to assess the significance of each pollutant for the AQI. A pollutant is considered to be (co-)responsible for the AQI if its individual assessment is equal to the AQI.

The data for applying the AQI proposals consisted of hourly average values of NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀, and PM_{2.5} measured at the sites of the monitoring networks of the federal states and the UBA. To determine the values of the current UBA AQI for PM₁₀ and PM_{2.5}, running 24-hour averages were used. Data were available from a total of 439 monitoring stations in 2019, respectively 433 stations in 2022. Since only a few of these stations measure all five pollutants, the number of time series differs for each pollutant.

For all AQI variants, the individual assessments of the pollutants were determined, and the respective AQI was defined as the worst assessment value among all pollutants measured for the corresponding time interval. The AQI was calculated when at least one assessment value was available.

In the current UBA AQI, the category "good" occurs most frequently. This remains the case with both new AQI proposals. However, the category "very good," which is the second most common in the current UBA AQI, decreases significantly with the new AQI proposals. This decrease is much more pronounced with the risk-based Proposal 2 than with the pragmatic Proposal 1. The category "moderate," which is the third most common in the current UBA AQI, shows a sharp increase with both proposals, with the increase being slightly smaller with Proposal 1. The category "poor" rarely appears in the current UBA AQI and becomes even less frequent with Proposal 1. However, it increases significantly with Proposal 2. The category "very poor" is extremely rare in the current UBA AQI. It remains very rare in both new AQI proposals (less than 1% of the cases), with the increase being stronger with Proposal 2 than with Proposal 1.

Both proposals therefore result in a shift in the index values to be communicated to the public towards worse assessment categories across all stations and hours, which is more pronounced

with the risk-based Proposal 2 than with the pragmatic Proposal 1. The differences between the new proposals and the current UBA AQI are due to the changes both in the category thresholds and the averaging periods for PM₁₀ and PM_{2.5}.

Furthermore, an analysis was conducted to examine how the application of the different AQI proposals affects the frequency distributions of the AQI categories at different station types. For this, the stations were categorized into four station types based on their station class and environment: "Urban background," "Rural background," "Traffic," and "Industry."

As expected, traffic stations show the poorest assessments and have the highest (co-)responsibility of NO₂ for the AQI with more than 70%. Despite this dominance of NO₂ at traffic stations, O₃ is similarly important as NO₂ across all stations, especially in the risk-based Proposal 2. O₃ clearly determines the AQI in the rural background with both proposals and is also frequently (co-)responsible for the AQI at urban background and industrial stations. The influence of the two PM values varies less between station types than the influence of NO₂ and O₃. With Proposal 1, PM₁₀ is less frequently (co-)responsible than PM_{2.5}, while the opposite is true with Proposal 2. This difference results from the stricter category thresholds for PM₁₀ in the risk-based Proposal 2.

Based on the updated category thresholds and the resulting assessment categories, health-related behavioural recommendations were developed along with corresponding rationales for the risk-based Proposal 2. The behavioral recommendations are differentiated into two population groups based on their sensitivity to the effects of air pollutants (general population and vulnerable groups such as individuals with pre-existing illnesses, older or very young people, and pregnant women). Due to the intended use of the index for short-term behavioural adaptation, the recommendations focus on short-term effects.

For each assessment category, general information on increasing risk and health-related behaviour is provided. Additionally, recommendations for reducing emissions are given. The general information contains statements on air quality, risk increases and the population groups affected. The other behavioural recommendations provide general advice on how to avoid or reduce emissions, particularly with regard to transport, heating and the use of combustion engines outside the transport sector.

The suggestions for behavioral recommendations for the risk-based AQI are shown in Table 6.

Table 6: Proposed behavioral recommendations for the new AQI

Index	Risk	Health-related behaviour		Other behavioural recommendations ¹
		General public	Particularly sensitive groups	
Very poor	The current air quality is very poor. Health issues may arise. Individuals with pre-existing lung and cardiovascular diseases, children and the elderly are most likely to be affected, but also healthy people may experience health effects.	Postpone physically demanding activities or relocate them to locations with better air quality. If you experience health effects such as coughing or shortness of breath, you should reduce your physical activity.	Avoid physical exertion outdoors. Postpone physically demanding activities or relocate them to locations with better air quality. If you experience any health effects such as coughing or shortness of breath, you should stop your physical activity and review your medication with your doctor.	You can help prevent air pollution from rising further and improve again by leaving your car at home. Use public transport and walk or cycle shorter distances. Form car pools instead of driving alone. Do not burn wood in stoves or fireplaces and refrain from lighting any kind of outdoor fires. Do not use any equipment with combustion engines for hobbies or garden work.
Poor	The current air quality is poor. Health issues may arise. Individuals with pre-existing lung and cardiovascular diseases, children and the elderly are most likely to be affected.	If you exercise outdoors, you should choose area location with better air quality (e.g. low traffic). If you experience health effects such as coughing or shortness of breath, you should reduce your physical activity.	Postpone physically demanding activities or relocate them to locations with better air quality. Alternatively, reduce the level of your physical exertion. If you experience any health effects such as coughing or shortness of breath, you should stop your physical activity and review your medication with your doctor.	
Moderate	The current air quality is moderate. Particularly sensitive people may experience health problems. Individuals with pre-existing lung and cardiovascular diseases are most likely to be affected.	Enjoy your usual outdoor activities.	If you exercise outdoors, you should choose a location with better air quality (e.g. low traffic) and pay attention to possible health effects. If you repeatedly	You can help prevent air pollution from rising further and improve again by leaving your car at home. Use public transport and walk or cycle shorter distances. Form car pools instead of driving alone.

Index	Risk	Health-related behaviour		Other behavioural recommendations ¹
	General information	General public	Particularly sensitive groups	
			experience health effects such as coughing or shortness of breath, you should reduce your physical activity and review your medication with your doctor.	If possible, do not use any equipment with combustion engines for hobbies or garden work.
Good	The current level of air pollution is low. Short-term health problems due to air pollution are unlikely. However, effects on chronic diseases cannot be ruled out in the event of long-term exposure at this level.	Enjoy your outdoor activities.	Enjoy your outdoor activities.	You can help keep the air pollution low by leaving your car at home, using public transport and walking or cycling shorter distances. Form car pools instead of driving alone. If possible, do not use any equipment with combustion engines for hobbies or garden work.
Very good	The current level of air pollution is very low. No health problems are expected to be caused by air pollutants.	Enjoy your outdoor activities.	Enjoy your outdoor activities.	

¹The advice for “Other behavioural recommendations” was largely adopted from the Swiss air quality index and the WHO recommendations for the design of air quality indices (König Minger et al. 2020; WHO 2023)

With regard to preventive health protection, it is recommended that the risk-based index be used as the future LQI for Germany.

1 Einleitung und Ziele des Projekts

Die Luftqualität ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Gesundheit. Kurzfristige Erhöhungen von Luftschadstoffkonzentrationen können zu gesundheitlich relevanten Symptomen und Ereignissen wie Husten, Atemnot, Asthmaanfällen, thromboembolischen Ereignissen (z. B. Schlaganfall, Herzinfarkt) bis hin zum Tod führen (WHO global air quality guidelines 2021). In Europa ist gesetzlich festgelegt, dass die Bevölkerung über die aktuelle Luftqualität zeitnah informiert und gegebenenfalls gewarnt werden soll, um dann entsprechende Verhaltensanpassungen vornehmen zu können (Europäische Kommission 2022).

Diese Information und Warnung geschieht auch mit öffentlich zugänglichen sogenannten Luftqualitätsindizes (LQI), die um entsprechende Ratschläge zum gesundheitsbewussten Verhalten bei erhöhten Schadstoffkonzentrationen ergänzt werden. Als LQI wird dabei ein Index verstanden, der die Luftqualität auf der Basis von Konzentrationsbereichen verschiedener gesundheitsrelevanter Luftschadstoffe entweder separat für einzelne Stoffe und/oder zusammenfassend in verschiedene Qualitätsstufen, z. B. von „sehr gut“ bis „sehr schlecht“ einteilt. Hiermit soll die Bevölkerung bzw. Teile der Bevölkerung dazu bewegt werden, ihr Verhalten entsprechend der Empfehlungen anzupassen, um zusätzliche akute Krankheitsfälle zu vermeiden. Der LQI soll hierdurch zum präventiven Gesundheitsschutz beitragen. In Deutschland wird zu diesem Zweck vom Umweltbundesamt (UBA) bereits ein LQI veröffentlicht.

Ziel dieses Projektes war die inhaltliche Überarbeitung des bestehenden nationalen LQI des UBA. Diese Überarbeitung ist unter anderem notwendig, da die erwartete Novellierung der Europäischen Union (EU) Luftqualitätsrichtlinie, die im Jahr 2022 von der Europäischen Kommission vorgeschlagen wurde (Europäische Kommission 2022), eine Berücksichtigung der im September 2021 veröffentlichten World Health Organization (WHO) Air Quality Guidelines (AQG) (WHO global air quality guidelines 2021) verlangt, die im bestehenden LQI des UBA noch nicht integriert sind.

Das Projekt gliederte sich in vier Arbeitspakete (AP).

AP 1 „Recherche bereits existierender LQI“: Als ersten Arbeitsschritt wurden verschiedene nationale und internationale LQI recherchiert und miteinander verglichen. Zusätzlich wurde eine systematische Literaturrecherche in zwei Literaturdatenbanken und eine Suche nach grauer Literatur durchgeführt. Für die Recherche nach grauer Literatur wurden insbesondere Veröffentlichungen und Webseiten von nationalen Umweltbehörden und regionalen Verwaltungen genutzt. Die Merkmale der gefundenen LQI wurden extrahiert und die verschiedenen Aspekte der LQI zusammengefasst und beschrieben.

AP 2 „Ermittlung von LQI-Bewertungsklassen und Ableitung der gesundheitsbezogenen Verhaltensempfehlungen“: Basierend auf den Rechercheergebnissen aus AP 1 und den WHO AQG 2021 wurden Empfehlungen für die Aktualisierung des UBA LQI erarbeitet. Dabei wurden mehrere LQI-Vorschläge mit aktualisierten Schwellenwerten, Bewertungsklassen und Verhaltensempfehlungen für die Luftschadstoffe PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, NO₂ und SO₂ entwickelt. Diese Vorschläge wurden exemplarisch auf deutsche Messdaten aus den Jahren 2019 und 2022 angewandt, die Auswirkungen auf die Verteilung der Bewertungsklassen ermittelt und die Unterschiede zwischen den Vorschlägen und dem derzeitigen UBA LQI vergleichend dargestellt.

AP 3 „Symposium“: Nach Abschluss von AP 1 und 2 wurden alle bisherigen Ergebnisse im Rahmen eines eintägigen Symposiums Vertreterinnen und Vertretern der deutschen Bundesländer präsentiert und mit ihnen diskutiert.

AP 4 „Formulierung von Empfehlungen für eine Übernahme in der App Luftqualität und Portal Luftdaten“: Basierend auf den Ergebnissen der AP 1 bis 3 wurde eine Empfehlung für den neuen LQI sowie Empfehlungen für dessen Übernahme in die vom UBA herausgegebene App „Luftqualität“ sowie in das Portal „Luftdaten“ des Internetauftritts des UBA ausgesprochen.

Die Bearbeitung und die Ergebnisse des Projekts werden in dem hier vorliegenden Bericht dokumentiert. Dabei widmet sich Kapitel 2 der Literaturrecherche. Kapitel 3 stellt die Ermittlung der Indexvorschläge dar, deren exemplarische Anwendung auf Messdaten zusammen mit entsprechenden vergleichenden Auswertungen in Kapitel 4 dokumentiert ist. Die darauf basierenden Empfehlungen für einen neuen LQI, in die auch die Erkenntnisse des Symposiums, das in Anhang E dokumentiert ist, eingeflossen sind, finden sich in Kapitel 5.

2 Recherche bereits existierender LQI

2.1 Methoden

Basierend auf Loader et al. (2016) wurde eine Literaturrecherche nach nationalen und internationalen LQI in zwei wissenschaftlichen Literaturdatenbanken sowie eine manuelle Suche nach grauer Literatur durchgeführt. In diesem Abschnitt wird das genaue Vorgehen bei der Recherche und Extraktion relevanter LQI präsentiert.

2.1.1 Formulierung der Forschungsfrage

Für die Literaturrecherche wurden drei übergreifenden Forschungsfragen formuliert:

1. Welche LQI werden regional, national und international verwendet?
2. Wie sind diese LQI aufgebaut?
3. Welche gesundheitsbezogenen Klassifizierungen haben sie und wie werden diese abgeleitet?

2.1.2 Systematische Literatursuche

Die Literaturrecherche wurde im Februar 2023 in den Datenbanken MEDLINE (über PubMed) und Web of Science (über Clarivate) durchgeführt. Für die Recherche zur ersten Forschungsfrage („Welche LQI werden verwendet?“) wurden die Schlüsselwörter „AQI“ (air quality index), „air pollution“, „air quality“ und „index“ verwendet. Zusätzlich wurden die Schlüsselwörter „WHO AQG“ und „WHO Air Quality guideline“ eingeführt, um insbesondere nach Veröffentlichungen zu suchen, die sich auf die im Jahr 2021 veröffentlichten globalen Luftqualitätsrichtlinien der WHO beziehen. Begriffe, die sich auf die Struktur der LQI und die in die Indizes implementierten Klassifizierungen beziehen, wurden für die systematische Literatursuche nicht operationalisiert. Die Suche konzentrierte sich auf Artikel, die im Jahr 2016 und später veröffentlicht wurden (Zeitfenster: 01.01.2016-22.02.2023). Die Suchbegriffe wurden mit den logischen Operatoren „AND“ und „OR“ verknüpft und auf Abstract und Titel beschränkt. Somit ergaben sich folgende Suchanfragen:

- MEDLINE:
(((AQI[Title/Abstract]) OR ((index[Title/Abstract]) OR (Indice*[Title/Abstract])))) AND ((air quality[Title/Abstract]) OR (air pollution[Title/Abstract])) AND (("2016/01/01"[Date - Publication] : "2023/02/22"[Date - Publication]))
- Web of Science:
((AB=(((AQI) OR ((index) OR (Indice*)))) AND ((“air quality”) OR (“air pollution”)))) OR TI=(((AQI) OR ((index) OR (Indice*)))) AND ((“air quality”) OR (“air pollution”)))) AND PY=(2016-2023)

Die Recherche wurde am 22. Februar 2023 durchgeführt. Nach dem Entfernen von Duplikaten lagen insgesamt 4968 eindeutige Treffer aus 2638 Treffern in MEDLINE und 4480 Treffern in Web of Science vor. Die Begriffe PM_{2,5} oder PM₁₀ oder beide zusammen wurden in 2072 der 4968 eindeutigen Treffer gefunden. 1316 eindeutige Einträge bezogen sich auf Luftqualitätsanalysen, die in China durchgeführt wurden.

Zur Bestimmung der Spezifität der Suche wurde aus der endgültigen Liste von 4968 Treffern eine Stichprobe von 100 Treffern nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Lediglich vier Treffer (4 %) in der Stichprobe bezogen sich auf die Erstellung eines Indexes oder die Beschreibung von Klassifizierungsmethoden. Zudem handelte es sich in drei der vier Fälle um rein explorative oder

theoretische Methoden, von denen keine in einen etablierten Index als praktische Anwendung umgesetzt wurde. Aufgrund der geringen Spezifität der durchgeführten Suche und der großen Anzahl von Treffern in MEDLINE und Web of Science wurde kein weiteres systematisches Screening der Ergebnisse durchgeführt.

In einem zweiten Schritt wurden die oben genannten Suchanfragen mit einer Suche nach der Erwähnung von WHO-Richtlinien ergänzt. Die Suchanfragen wurden hierfür mit den Schlüsselwörtern „WHO AQG“, „WHO air quality guideline“ und „World Health Organization air quality guideline“ kombiniert. Die Schlüsselwörter wurden mit dem logischen Operator „OR“ verknüpft und mit den Hauptsuchbegriffen durch den logischen Operator „AND“ verbunden, die Suche wurde auf Abstract und Titel beschränkt. Somit ergaben sich folgende Suchanfragen:

- ▶ MEDLINE:
((((AQI[Title/Abstract]) OR ((index[Title/Abstract]) OR (Indice*[Title/Abstract])))) AND ((air quality[Title/Abstract]) OR (air pollution[Title/Abstract]))) AND ((“2016/01/01”[Date – Publication] : “2023/02/22”[Date – Publication])) AND ((WHO Air Quality guideline*) OR (WHO AQG) OR (World Health Organization air quality guideline*))
- ▶ Web of Science:
(((AB=(((AQI) OR ((index) OR (Indice*))) AND ((“air quality”) OR (“air pollution”)))) OR TI=(((AQI) OR ((index) OR (Indice*))) AND ((“air quality”) OR (“air pollution”)))) AND PY=(2016-2023)) AND (TI=(WHO Air Quality guideline*) OR TI=(WHO AQG) OR AB=(WHO Air Quality guideline*) OR AB=(WHO AQG) OR TI=(World Health Organization air quality guideline*) OR AB=(World Health Organization air quality guideline*))

In MEDLINE wurden 38 Treffer, in Web of Science 46 Treffer gefunden (Stand am 21. März 2023). Von diesen bezogen sich zwei Veröffentlichungen auf die WHO AQG 2021: Lei et al. (2022) und Tan et al. (2023). In Lei et al. (2022) wurden die zeitlichen und räumlichen Merkmale der wichtigsten Luftschadstoffe und der damit verbundenen Gesundheitsrisiken in China von 2019 bis 2020 dargestellt. Zur Berechnung des erhöhten Gesundheitsrisikos in China wurden die in der Publikation WHO AQG 2021 angegebenen Effektschätzer verwendet. Diese Effektschätzer wurden anschließend verwendet, um einen auf den Gesundheitsrisiken basierenden LQI zu erstellen. In Tan et al. (2023) wurde die Verteilung des Air Quality Health Index (AQHI, Luftqualitäts-Gesundheitsindex) auf der Grundlage des in Kanada entwickelten und für Hongkong angepassten Multi-Schadstoff-Ansatzes über die Jahre 2011 bis 2020 berechnet. Ziel war es, die Verbesserung der Luftqualität zu untersuchen und auf Grundlage der WHO AQG 2021 eine umfassende Bewertung sowohl der menschlichen Gesundheit als auch der Kontrollmaßnahmen in Hongkong vorzunehmen.

2.1.3 Suche nach grauer Literatur

Es wurde eine zusätzliche manuelle Suche nach grauer Literatur durchgeführt, um LQI auf Webseiten von nationalen und internationalen Umweltbehörden, regionalen Verwaltungen und internationalen Netzwerken zu finden. Außerdem wurde nach kommerziell angebotenen LQI gesucht. Es gab keine sprachlichen Einschränkungen für die LQI, da dies die Suche zu sehr eingengt hätte. Loader et al. (2016) zeigt, dass im Rahmen einer umfassenden Überprüfung einer möglichst hohen Zahl von LQI die Aufnahme nicht-englischer Indizes nötig ist, da die auf Englisch bereitgestellten Informationen oftmals unzureichend sind (Loader et al. 2016). Daher wurden neben den englischen Texten die im Projektteam vorhandenen Sprachkenntnisse (Russisch, Koreanisch, Französisch und Deutsch) und das Online-Übersetzungsprogramm „Google Translate“ genutzt.

Die manuelle Suche fand im März und April 2023 statt. Ausgangspunkt für die manuelle Suche waren die in der Leistungsbeschreibung geforderten LQI sowie die LQI aus den Berichten von Loader et al. (2016) und Cromar und Lazrak (2023). Der erst genannte Bericht wurde in der Projektbeschreibung als Grundlage für die Recherche definiert. Cromar und Lazrak (2023) ist ein aktueller Bericht der WHO zu LQI. Darüber hinaus wurde eine Google-Suche für die Bundesländer Deutschlands durchgeführt, wobei der Begriff „Luftqualität“ und das jeweilige Bundesland mit dem Operator „AND“ verknüpft wurden. Ferner wurde nach LQI aus Nachbarländern und Ländern mit vergleichbaren klimatischen Bedingungen wie Deutschland gesucht. Zunächst wurden LQI aus Nachbarländern wie der Schweiz, Österreich, Luxemburg und den Niederlanden recherchiert. Neben der Google-Suche (mit dem Begriff „air quality index“ und dem Namen des jeweiligen Landes in Verbindung mit dem Operator „AND“) wurde die Webseite <https://www.iqair.com> genutzt, um Webseiten von Umweltbehörden zu finden. Die IQAir-Webseite war besonders hilfreich bei der Suche nach Landesbehörden und Behörden aus nicht deutsch- bzw. nicht englischsprachigen Ländern. Anschließend wurde der Radius erweitert und nach LQI aus allen Ländern der Europäischen Union (EU27) gesucht. Zusätzlich wurden weiter entfernte Industrieländer wie Neuseeland, Südkorea und Japan berücksichtigt, welche ein hohes Bruttoinlandsprodukt aufweisen und in wirtschaftlicher Hinsicht mit Deutschland vergleichbar sind.

Mittels einer Google-Suche und im Google Playstore wurde nach kommerziellen LQI gesucht, da größere Anbietende wie Breezometer¹ hauptsächlich auf ihre Smartphone-Anwendungen („Apps“) verweisen. In der Google-Suche wurde mit dem Begriff „commercial air quality index“ gesucht. Im Google Playstore wurde nach den Begriffen „air quality index“ sowie „Luftqualitätsindex“ gesucht. Ergänzend wurden weitere kommerzielle LQI berücksichtigt, die in der Breezometer-App erwähnt werden.

Darüber hinaus wurde die Liste durch Konsultationen mit Expertinnen und Experten des UBA erweitert.

2.1.4 Auswahl der LQI

Aus den identifizierten LQI wurden nach den unten genannten Kriterien insgesamt 75 LQI ausgewählt (Tabelle 7). Ziel der Auswahl von LQI war, eine möglichst diverse Gruppe von LQI mit möglichst vielen unterschiedlichen Methoden und Ansätzen zu erhalten. Dabei sollten die ausgewählten LQI zumindest teilweise aus Regionen kommen, deren Luftqualität mit der deutschen vergleichbar ist. Ferner wurden einige LQI aufgrund spezifischer Aspekte, wie z. B. detaillierten gesundheitsbezogenen Informationen, in die weitere Betrachtung einbezogen, auch wenn ihre Methodik einem anderen LQI ähnlich war oder einige methodische Informationen nicht verfügbar waren. Die endgültige Liste der LQI wurde vom UBA geprüft und für die weitere Bearbeitung festgelegt.

¹ Mitte 2023 wurde Breezometer von Google LLC übernommen und in die Google-Infrastruktur integriert. Die ursprüngliche Website wurde neu aufgebaut und die App von den App-Plattformen entfernt. Die Beschreibung des Breezometer-AQI in diesem Bericht basiert auf den Daten, die bis zur Integration in die Google-Infrastruktur erhoben wurden. Die eigenständige Breezometer-App wurde im September 2023 deaktiviert.

Tabelle 7: Auswahl der LQI - Gründe für Aufnahme und Ausschluss

Aufnahmegründe	Ausschlussgründe
Eigenständiger LQI (nicht abgeleitet von anderem LQI)	Starke Ähnlichkeit mit einem anderen LQI
Verfügbare methodische Informationen	Keine methodischen Informationen auffindbar
Gesundheitsbezogene Warnungen und Verhaltensempfehlungen oder Hinweise auf die Gesundheit	Keine gesundheitsbezogenen Warnungen und Verhaltensempfehlungen oder Hinweise auf die Gesundheit enthalten
Aktuelle Revision liegt vor	Keine Revision nach Aufnahme in den RICARDO-Bericht
Index basierend auf mindestens zwei Schadstoffen	Index basiert auf nur einem Schadstoff
Geographische Nähe zu Deutschland	-
Länder mit vergleichbarer Luftqualität zu Deutschland	-
Angaben zur Langzeitexposition	-
Berücksichtigung von Wechselwirkungen bei Gesundheitseffekten	-
Angaben zur räumlichen Zuordnung der Messungen bzw. der Bewertungen	-

2.1.5 Datenextraktion

Basierend auf einem strukturierten Fragebogen wurden die wesentlichen Eigenschaften der ausgewählten Indizes extrahiert und in Kurzbeschreibungen zusammengefasst. Mithilfe von Tabellen und Abbildungen werden die verschiedenen Eigenschaften der ausgewählten LQI präsentiert. Die folgenden Aspekte der LQI wurden berücksichtigt:

- ▶ Rechtsgrundlagen und zugrundeliegende wissenschaftliche Literatur (gesetzliche Rechtsgrundlagen des LQI und dazugehörige Literatur, für Bewertung oder Kommunikation der gesundheitlichen Auswirkungen verwendete Literatur, Berücksichtigung der WHO global air quality guidelines 2021)
- ▶ Allgemeine Informationen (Name des Index, der Anbietenden oder Eigentümer bzw. die Eigentümerin des Index, Hyperlinks zur Webseite, Land oder Gebiet, für das der jeweilige Index gültig ist, Jahr der Veröffentlichung oder der letzten Aktualisierung, Ziel des Index und die Zielgruppe bzw. die Hauptnutzenden)
- ▶ Geographische Informationen (Land bzw. Region, Informationen über Messstationen, räumlicher Bezug der Informationen, Art der räumlichen Darstellung)
- ▶ Methoden (Art und Anzahl der Schadstoffe, Mittelungszeiten, Umgang mit fehlenden Daten, Nutzung von Modelldaten, Art der Kombination mehrerer Schadstoffe zum Gesamtindex, Definition der Bewertungsklassen, Berücksichtigung von WHO AQG 2021, Präsentation von Prognosen oder historischen Daten, Nutzung von meteorologischen Daten)

- Allgemeine Kommunikation (Kommunikationswege, Nutzungsinformationen und die Häufigkeit von Aktualisierungen des Index, Klassennamen, Visualisierungen, Informationen über Farbschema, Indexskala,)
- Gesundheitsbezogene Warnungen und Verhaltensempfehlungen (kurz- oder langfristige Empfehlungen, Empfehlungen in Bezug auf Symptome, Differenzierung nach Zielgruppe, Inhalte)

Die oben aufgelisteten Informationen wurden soweit möglich den Webseiten, auf denen die LQI veröffentlicht wurden, entnommen. Zusätzlich stellen einige Länder (z. B. die Niederlande, Kanada und die USA) Berichte oder Veröffentlichungen mit detaillierteren Informationen über die Methode und den Aufbau ihres LQI zur Verfügung. Wenn keine spezifischen methodischen Informationen gefunden werden konnten oder Unklarheiten bestanden, wurde via E-Mail Kontakt zu den Anbietenden bzw. bereitstellenden Organisationen aufgenommen.

Die zur korrekten Extraktion der Informationen verwendeten Datenelemente und Schlüsselfragen wurden vor dem Beginn der Extraktion mit dem UBA besprochen und überprüft. Bei der Übersetzung wurden automatisierte Webtechnologien wie Google Translate oder DeepL eingesetzt.

2.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

2.2.1 Identifizierte und ausgewählte LQI

Es wurden insgesamt 75 LQI identifiziert. Eine vollständige Liste der LQI, die bei der Literaturrecherche gefunden, aber nicht für die Überprüfung ausgewählt wurden, kann in Anhang A gefunden werden. Die für die weitere Betrachtung ausgewählten LQI sowie die maßgeblichen Gründe für deren Auswahl sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Insgesamt wurden von den identifizierten LQI 24 LQI mit unterschiedlichen Ansätzen ausgewählt. Dabei wurden 16 LQI aus europäischen Ländern, zwei aus westpazifischen Ländern, zwei aus amerikanischen Ländern und vier LQI, die weltweit Bewertungen zur Verfügung stellen, näher betrachtet. Von den globalen LQI stammen vier von kommerziellen Anbietenden (Breezometer, Plume, World AQI und Airly), alle anderen LQI sind von staatlich finanzierten Anbietenden.

Tabelle 8: Überblick über die ausgewählten LQI

ID	Land	Kontinent/ Weltregion	Name des Index	Begründung der Aufnahme
-	Deutschland	Europa	UBA Luftqualitätsindex	In diesem Projekt zu überarbeitender LQI
1	Australien (Neusüdwaales, NSW)	Westpazifik	Air Quality Categories	Räumliche Zuordnung von Bewertungen
2	Belgien	Europa	BelAQI	Berücksichtigung von WHO AQG 2021
3	Kanada	Nordamerika	Air Quality Health Index	Detaillierte gesundheitliche Informationen, Berücksichtigung von Schadstoffwechselwirkungen

ID	Land	Kontinent/ Weltregion	Name des Index	Begründung der Aufnahme
4	Tschechische Republik	Europa	Index kvality ovzduší	Nachbarland mit teilweise vergleichbarer Luftqualität, Basierung auf 3h-Mittelwerten für PM
5	Na ¹	Europa	Europäischer AQI	In Projektbeschreibung festgelegt
6	Frankreich	Europa	ATMO index	Vergleichbare Umwelt/Luftqualität zu Deutschland
7	Deutschland (Baden-Württemberg (BW))	Europa	Luftqualitätsindex Baden-Württemberg	In Projektbeschreibung festgelegt
8	Deutschland (Berlin)	Europa	Berliner Luftgütemessnetz	In Projektbeschreibung festgelegt
9	Hongkong	Westpazifik	Air Quality Health Index	Gesundheitsempfehlungen für verschiedene Gruppen, basiert auf 1h-Mittelwerten für PM
10	Irland	Europa	Air Quality Index for Health	Berücksichtigung von WHO LQI 2021
11	Luxemburg	Europa	Luftqualitätsindex	Vergleichbare Umwelt/Luftqualität zu Deutschland
12	Monaco, Region der Côte d'Azur	Europa	Indicateur Cumulé de l'AIR, ATMO Index daily	Räumliche Zuordnung von Bewertungen
13	Niederlande	Europa	Luchtkwaliteitsindex	Vergleichbare Umwelt/Luftqualität zu Deutschland
14	Norwegen	Europa	-	Detaillierte gesundheitliche Informationen
15	Südkorea	Westpazifik	Comprehensive air quality index (CAI)	Berücksichtigung von Wechselwirkungen von Schadstoffen
16	Spanien	Europa	Índice Nacional de Calidad del Aire	Umgang mit fehlenden Daten
17	Schweiz und Liechtenstein	Europa	Kurzzeit-Luftbelastungs-Index	Deutschsprachige Gesundheitsempfehlungen
18	U.K.	Europa	Daily Air Quality Index (DAQI)	Formulierung von Gesundheitsempfehlungen
19	USA	Nordamerika	U.S. Air Quality Index	In Projektbeschreibung festgelegt
20	Usbekistan	Europa	Air Pollution Index	Methodische Aspekte
21	Na	Weltweit	Breezometer AQI	Kommerzieller LQI, detaillierte gesundheitsbezogene Warnungen und Verhaltensempfehlungen und Hinweise auf die Gesundheit

ID	Land	Kontinent/ Weltregion	Name des Index	Begründung der Aufnahme
22	Na	Weltweit	Plume AQI (PAQI)	Kommerzieller LQI, methodische Aspekte, langfristige gesundheitsbezogene Warnungen und Verhaltensempfehlungen, Berücksichtigung von WHO AQG 2021
23	Na	Weltweit	World AQI	Kommerzieller Index, methodische Aspekte
24	Na	Weltweit	Airly AQI	Kommerzieller Index, methodische Aspekte

¹ Na: nicht anwendbar

2.2.2 Rechtsgrundlagen und wissenschaftliche Literatur

Die recherchierten LQI basieren auf unterschiedlichen nationalen oder supranationalen Vorgaben zur Erstellung und Veröffentlichung von LQI und nutzen verschiedene Quellen für wissenschaftliche Empfehlungen und für gesetzliche Grenzwerte für die Ableitung von Bewertungsklassen. Für den europäischen Raum wird mit Inkrafttreten der novellierten Luftqualitätsrichtlinie die Information der Bevölkerung mit einem LQI verpflichtend. Dabei kann jedes EU-Mitglied entweder einen eigenen Index innerhalb des gesetzlich vorgesehenen Rahmens entwickeln oder den Index der EEA nutzen. Tabelle 9 zeigt die Rechtsgrundlagen und zugrundeliegende Literatur der LQI vor Inkrafttreten der novellierten Luftqualitätsrichtlinie.

Tabelle 9: Rechtsgrundlagen und referenzierte Literatur der LQI

ID	Land	Rechtsgrundlage	Zitierte wissenschaftliche Literatur	Zugrundeliegende Grenzwerte oder andere Vorgaben
-	Deutschland	Richtlinie 2008/50/EG 2008 39. BImSchV (Richtlinie 2008/50/EG 2008)	WHO AQG 2005 (WHO Air quality guidelines 2006) Fraser et al. (2016)	Richtlinie 2008/50/EG 2008
1	Australien (NSW)	National Environment Protection Council established under the Act 1994, National Environment Protection Measure Variation Instrument 2021	Eine Liste der Literatur findet sich in Jalaludin und Cowie (2012) Defense Logistics Agency Environmental Service (https://www.nepc.gov.au/sites/default/files/2022-09/health-report.pdf)	National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure Variation Instrument 2021 (https://www.legislation.gov.au/F2021L00585/latest/text) WHO AQG 2021 US EPA National Ambient Air Quality Standards (United States Environmental Protection Agency 2018)
2	Belgien	Richtlinie 2008/50/EG 2008	Nicht gefunden	WHO AQG 2021

ID	Land	Rechtsgrundlage	Zitierte wissenschaftliche Literatur	Zugrundeliegende Grenzwerte oder andere Vorgaben
3	Kanada	Canadian Environmental Protection Act, 1999 Canada-United States Air Quality Agreement	Eine Liste der Literatur findet sich im Bericht Health Canada (Health Canada. Health Impacts of Air Pollution in Canada. Estimates of morbidity and premature mortality outcomes 2019)	Nicht gefunden
4	Tschechische Republik	Annex No. 2 of the Air, Protection Act 201/2012 Coll, Annex No. 11 to Decree No. 415/2012 Coll, Richtlinie 2008/50/EG 2008	WHO Leitlinien (genaue Quelle nicht angegeben)	Nicht gefunden
5	Europäischer AQI	Richtlinie 2008/50/EG 2008	Siehe European Environment Agency (EEA) Bericht (European Environment Agency 2020), WHO HRAPIE Projekt (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 2013)	Richtlinie 2004/107/EC, Richtlinie 2008/50/EG 2008, Richtlinie 2016/2284/EC
6	Frankreich	Richtlinie 2008/50/EG 2008, l'article 3 de l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant	Nicht gefunden	WHO AQG 2021
7	Deutschland (BW)	39. BImSchV (Richtlinie 2008/50/EG 2008)	Eine Liste der Literatur findet sich in LUBW (2020)	Richtlinie 2002/3/EG Richtlinie 2008/50/EG 2008
8	Deutschland (Berlin)	39. BImSchV (Richtlinie 2008/50/EG 2008)	Nicht gefunden	Richtlinie 96/62/EG
9	Hongkong	Nicht gefunden	Sicard et al. (2011), Stieb et al. (2008)	WHO AQG 2005
10	Irland	Richtlinie 2008/50/EG 2008	WHO Leitlinien (nicht spezifiziert)	WHO AQG 2005 Richtlinie 2008/50/EG 2008
11	Luxemburg	Richtlinie 2008/50/EG 2008	WHO AQG 2000, WHO AQG 2005	Richtlinie 2008/50/EG 2008

ID	Land	Rechtsgrundlage	Zitierte wissenschaftliche Literatur	Zugrundeliegende Grenzwerte oder andere Vorgaben
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Richtlinie 2008/50/EG 2008	IARC (nicht spezifiziert), Fuller et al. (2022)	WHO AQG 2021
13	Niederlande	Richtlinie 2008/50/EG 2008	Eine Liste der Literatur findet sich im Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu Rapport 2014-0050, Zee und van der (2008), WHO (2013).	Directive EU 2015-2193 (https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vjq2w1ejmti)
14	Norwegen	Richtlinie 2008/50/EG 2008, Richtlinie 2004/107/EU Pollution Control Act Public Health Act	WHO AQG 2005, Empfehlung des Norwegischen Instituts für öffentliche Gesundheit	Norwegian Environment Agency (2014), WHO AQG 2021
15	Südkorea	Environmental policy standard law execution directive 2015.01.01/2	Nicht gefunden	Nicht gefunden
16	Spanien	Disposición adicional única de la Orden TEC/351/2019, Richtlinie 2008/50/EG 2008 WHO AQG (nicht angegeben)	Basierend auf europäischem AQI	Basierend auf dem europäischen AQI, WHO AQG (nicht angegeben)
17	Schweiz und Liechtenstein	Luftreinhalteverordnung	Eine Literaturliste findet sich im Bericht König Minger et al. (2020)	Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz
18	U.K.	Richtlinie 2008/50/EG 2008	Eine Liste findet sich in Ayres et al. (2011) WHO AQG 2005	Richtlinie 2008/50/EG 2008
19	USA	Clean Air Act	WHO (nicht spezifiziert)	https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf
20	Usbekistan	Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 737, 2019 "On the improvement of the environmental monitoring system in the Republic of Uzbekistan"	Nicht gefunden	Nicht gefunden
21	Breezometer AQI	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden

ID	Land	Rechtsgrundlage	Zitierte wissenschaftliche Literatur	Zugrundeliegende Grenzwerte oder andere Vorgaben
22	Plume AQI	Nicht gefunden	WHO AQG 2021	WHO AQG 2021
23	World AQI	US-EPA 2016	Nicht gefunden	Nicht gefunden
24	Airly AQI	Nicht gefunden	WHO AQG 2021	WHO AQG 2021

2.2.3 Allgemeine Informationen

In Tabelle 10 sind allgemeine Informationen wie der Zeitpunkt der Veröffentlichung oder Überarbeitung, die bereitstellende Organisation, die Sprache(n) der Webseite und/oder App sowie die URL (Uniform Resource Locator, einheitlicher Ressourcenverortner) der ausgewählten LQI aufgeführt.

Zweck der ausgewählten LQI ist in allen Fällen die Öffentlichkeit zu informieren. Oft richten sich die LQI mit ergänzenden Informationen zusätzlich an vulnerable Gruppen wie Kinder, ältere Menschen oder Menschen mit chronischen Krankheiten wie z. B. Asthma. Einige LQI verfolgen weitere Ziele, wie z. B. die Bereitstellung von Informationen für Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen (Belgien), die Unterstützung von Interessengruppen wie lokale Gemeinden, Unternehmen und Betreibenden von Industriestandorten bei der Behandlung von Luftqualitätsproblemen (Monaco), die Information von Organisationen, die öffentliche Echtzeit-Informationsdienste betreiben (U.K.) sowie die Information von Geschäftspartnern und Geschäftspartnerinnen und lokalen Behörden (Airly).

Tabelle 10: Allgemeine Informationen zu den ausgewählten LQI - Aktualität, Anbietende, Sprache und URL

ID	Land	Jahr der Publikation/ letzten Änderung	Unternehmen/ Anbietende	Sprache	URL
-	Deutschland	Derzeit in Überarbeitung	Umweltbundesamt (UBA)	Deutsch	https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten
1	Australien (NSW)	2020	NSW Department of Planning and Environment	Englisch	https://www.environment.nsw.gov.au/topics/air/understanding-air-quality-data/air-quality-categories
2	Belgien	2022	Belgian Interregional Environment Agency	Niederländisch, Englisch, Französisch, Deutsch	https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index-november-2022
3	Kanada	2021	Government of Canada, Environment	Englisch	https://www.canada.ca/en/environment-climate-

ID	Land	Jahr der Publikation/ letzten Änderung	Unternehmen/ Anbietende	Sprache	URL
4	Tschechische Republik	2019	and Climate Change Canada Czech Hydro-meteorological Institute (CHMI)	Tschechisch	change/services/air-quality-health-index.html https://www.chmi.cz/?l=en#! https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/154.pdf
5	Europa	2021	European Commission's Directorate General for Environment, EEA	Englisch und in allen 24 EU-Sprachen	https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index
6	Frankreich	2021	Fédération des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	Französisch	www.atmo-npdc.fr https://www.atmo-france.org/ https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/
7	Deutschland (BW)	2020	Landesanstalt für Umwelt BW	Deutsch	https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/aktuelle-messungen-und-prognosen
8	Deutschland (Berlin)	2019	Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz	Deutsch	https://luftdaten.berlin.de/lqi
9	Hongkong	2013	WorkGovHK, Environmental Protection Department	Chinesisch, Englisch	https://www.aqhi.gov.hk/en.html https://www.aqhi.gov.hk/en/annual-aqi/latest-annual-aqi.html
10	Irland	Nicht gefunden	Environmental Protection Agency	Englisch	https://www.epa.ie/our-services/monitoring--assessment/air/#
11	Luxemburg	2020	Le gouvernement luxembourgeois, Administration de l'environnement	Französisch, Deutsch	https://aev.gouvernement.lu/fr/dossiers/2021/air-quality.html https://play.google.com/store/apps/details?id=lu.ctie.qualiteaire&gl=US

ID	Land	Jahr der Publikation/ letzten Änderung	Unternehmen/ Anbietende	Sprache	URL
12	Monaco, Region Côte d'Azur	2020	Ministère de la Transition écologique	Französisch, Englisch	https://www.atmosud.org/
13	Niederlande	Derzeit in Überarbeitung	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu	Niederländisch	https://www.luchtmeetnet.nl/informatie/luchtkwaliteit/luchtkwaliteitsindex-(lki)
14	Norwegen	2023	Norwegian Environment Agency	Norwegisch	https://luftkvalitet.miljodirektoratet.no/kart/59/10/5/aqi
15	Südkorea	2018	Korean Environment Corporation	Koreanisch	https://cleanair.seoul.go.kr https://www.airkorea.or.kr/eng/
16	Spanien	2020	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico	Spanisch	https://ica.miteco.es/
17	Schweiz und Liechtenstein	Letzte Revision der App: 2023	Cercl'Air Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute	Deutsch	https://cerclair.ch/aircheck https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.ti.oasi.android.airquality
18	U.K.	2012	Department for Environment Food & Rural Affairs	Englisch	https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info
19	USA	2018	US EPA	Englisch	https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/
20	Usbekistan	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Russisch, Kirgisisch, Englisch	https://monitoring.meteo.uz/en/
21	Breezometer AQI	2021	Breezometer, Teil von Google	Mehrsprachig (11 Sprachen)	https://www.breezometer.com/ https://breezometer.freshdesk.com/support/solutions/folders/80000618331
22	Plume AQI	2023	AccuWeather	Englisch, Französisch, Spanisch, Italienisch	https://plumelabs.com/en/air/
23	World AQI	Nicht gefunden	World Air Quality Index Projekt,	Mehrsprachig	aqicn.org waqi.info

ID	Land	Jahr der Publikation/ letzten Änderung	Unternehmen/ Anbietende	Sprache	URL
24	Airly AQI	2021	gemeinnützig, mit Sitz in Peking China Airly Inc.	Mehrsprachig	https://airly.org/

2.2.4 Geographische Informationen zu den ausgewählten LQI

Die ausgewählten LQI decken unterschiedliche geographische Einheiten ab (Tabelle 11). Der Begriff „abgedecktes geographisches Gebiet“ bezeichnet das gesamte Gebiet, für das der jeweilige LQI mit seinen Bewertungen der Luftqualität zur Verfügung steht, z. B. global, Land, Bundesland, subnationale Region oder Stadt. Der UBA LQI z. B. stellt einen Index für Deutschland zur Verfügung, der europäische AQI stellt Indizes für alle Mitgliedsländer der EU zur Verfügung. Die räumliche Zuordnung eines LQI beschreibt das Gebiet, für welches der LQI gilt. So wird beispielsweise festgelegt, ob der LQI nur für den genauen Standort der Messstation oder für ein bestimmtes Gebiet um die Messstation herum gilt. Im UBA LQI hängt die räumliche Zuordnung vom Typ der Messstation ab. So beträgt die räumliche Zuordnung für verkehrsnahen Stationen wenige 100 Meter während der LQI bei abgelegenen ländlichen Stationen auf ähnliche Orte in 100 km Entfernung oder mehr übertragbar ist. Für viele der betrachteten Indizes liegen keine bzw. keine spezifischen Informationen zur räumlichen Zuordnung vor. Der auf stündlichen Konzentrationen basierende LQI aus Belgien nutzt Modellierungen mit einer räumlichen Auflösung von 1000 m². Im Gegensatz dazu wird für den belgischen Langzeit-LQI (Jahresmittelwerte) und für den französischen LQI Gebiete von „einigen Dutzend Quadratmetern“ angegeben. Der kanadische AQHI gilt auf „Gemeindeebene“. Für andere LQI sind spezifischere Informationen verfügbar, z. B. 1 km² für die Tschechische Republik und Luxemburg, 25 x 25 m für Monaco sowie 4 x 4 km für die aktuellen Werte und 7 x 7 km für die prognostizierten Werte des niederländischen LQI. Der spanische LQI, der Airly AQI und der World AQI gelten nur am Ort der Messstationen.

Tabelle 11: Geographische Informationen und Art der Messstationen

ID	Land/ Region	Abgedecktes geographisches Gebiet	Lokalisation der Messstation	Angaben zur räumlichen Zuordnung der Bewertung
-	Deutschland	Land	Verkehrsnah Industrie Städtisch Ländlich	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation und seiner Umgebung. Eine verkehrsorientierte Station repräsentiert eine Umgebung von einigen 100 m, eine ländliche Station ist auf ähnliche Orte in 100 km Entfernung oder mehr übertragbar.
1	Australien (NSW)	Region	Städtisch Ländlich Am Straßenrand	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation. Regionale Luftqualitätskategorien fassen die Luftqualität für jede Region zusammen.

ID	Land/ Region	Abgedecktes geographisches Gebiet	Lokalisation der Messstation	Angaben zur räumlichen Zuordnung der Bewertung
2	Belgien	Land	Städtischer Hintergrund	Der Index ist repräsentativ für eine Fläche von einigen Dutzend Quadratmetern
3	Kanada	Land	Nicht gefunden	Gemeindeebene (nicht spezifiziert)
4	Tschechische Republik	Land	Städtisch (Verkehr) Vorörtlich (industriell) Ländlich (Hintergrund)	1 km ²
5	Europa	Länder der EU	Städtisch Vorörtlich Ländlich	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation
6	Frankreich	Land	Städtisch Vorörtlich Ländlich Mobil	Die räumliche Bezugsrepräsentativität ist durch die Hintergrundmessstationen gegeben. Gemäß den Vorschriften sind die Stichproben stellvertretend für mehrere Quadratkilometer
7	Deutschland (BW)	Bundesland	Verkehrsnah Städtisch Ländlich	Gemäß Anhang 3 der 39. BImSchV muss der Messungsort repräsentativ für die Luftqualität eines Straßenabschnitts von mindestens 100 Metern Länge sein
8	Deutschland (Berlin)	Bundesland	Verkehrsnah Vorörtlich Ländlich	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation
9	Hongkong	Region	Verkehrsnah Städtisch Vorörtlich Ländlich	Nicht gefunden
10	Irland	Land	Verkehrsnah Städtisch Ländlich	Nicht gefunden
11	Luxemburg	Land	Verkehrsnah Städtisch Städtischer Hintergrund Ländlich	1 km ² (geostatistische Interpolation)
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Region	Verkehr Städtisch Industriell	25 Meter über der gesamten Region (HD-Modellierung mit Assimilation von Messungen)
13	Niederlande	Land	Städtischer Hintergrund Straßenstation Hintergrund Industriestation Hafenstation	4 x 4 km für die tatsächlichen Werte, 7 x 7 km für die vorhergesagten Werte

ID	Land/ Region	Abgedecktes geographisches Gebiet	Lokalisation der Messstation	Angaben zur räumlichen Zuordnung der Bewertung
14	Norwegen	Land	Verkehrsnah Städtisch Ländlich Nationaler Hintergrund Hafen (Küstenlinie)	Nicht gefunden
15	Südkorea	Land	Städtisch Ländlich Straßenrand Nationaler Hintergrund	Nicht gefunden
16	Spanien	Land	Verkehrsnah Industriestationen Hintergrund	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation
17	Schweiz und Liechtenstein	Land	Verkehrsnah Städtisch Vorörtlich Ländlich	Nicht gefunden
18	U.K.	Land	Städtisch (Verkehr) Städtischer Hintergrund Ländlicher Hintergrund Vorörtlicher Hintergrund Städtische Industrie Vorstädtische Industrie	Nicht gefunden
19	USA	Land	Nicht gefunden	Die Karten sind mit einer Auflösung von 0.045 Dezimalgrad (etwa 5 km) interpoliert.
20	Usbekistan	Land	Verkehrsnah Städtischer Hintergrund Industriell	Nicht gefunden
21	Breezometer AQI	Global	Verkehrsnah Städtische/ staatliche Stationen Satelliten- informationen	Straßenebene
22	Plume AQI	Global	Verkehrsnah Städtisch	10 m in großen städtischen Gebieten bis zu einigen Kilometern in schlecht überwachten Regionen
23	World AQI	Global	Nicht spezifiziert	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation

ID	Land/ Region	Abgedecktes geographisches Gebiet	Lokalisation der Messstation	Angaben zur räumlichen Zuordnung der Bewertung
24	Airly AQI	Global	Nicht spezifiziert	Indikator für die Luftqualität am Standort der Messstation

2.2.5 Methoden der ausgewählten LQI

2.2.5.1 Schadstoffe, Datenquellen und Mittelungszeiträume

Tabelle 12 beschreibt methodische Aspekte der Konstruktion der LQI. Die meisten LQI basieren auf NO₂, O₃, PM_{2.5}, PM₁₀ und SO₂, wobei einige auch CO, NO, PM₁ oder ein Maß für die Lichtabsorption enthalten. Die Schadstoffdaten kommen bei allen LQI aus Messungen, wobei elf der ausgewählten Indizes darüber hinaus Daten aus Modellierungen nutzen. Bei acht Indizes wird eine Berücksichtigung der WHO global air quality guidelines 2021 hinsichtlich der Klassengrenzen genannt.

Tabelle 12: Methodische Aspekte der ausgewählten LQI – genutzte Schadstoffe, Datenquellen und Berücksichtigung der WHO AQG 2021

ID	Land / Region	Berücksichtigung der WHO AQG 2021	Eingeschlossene Schadstoffe	Datenquelle: Messungen	Datenquelle: Modellierung
-	Deutschland	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀	Ja	Ja (Vorhersagen)
1	Australien (NSW)	Ja	CO NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂ Visibility (Sicht)	Ja	Nein
2	Belgien	Ja	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀	Ja	Ja
3	Kanada	Nicht gefunden	NO ₂ O ₃ PM _{2.5}	Ja	Nein
4	Tschechische Republik	Nicht gefunden	NO ₂ O ₃ PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja
5	Europa	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja
6	Frankreich	Ja	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja
7	Deutschland (BW)	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀	Ja	Nein
8	Deutschland (Berlin)	Nein	CO NO ₂ O ₃ PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
9	Hongkong	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
10	Irland	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
11	Luxemburg	Nicht gefunden	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀	Ja	Ja
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Ja	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
13	Niederlande	Nein	NO NO ₂ O ₃ PM ₁₀	Ja	Ja
14	Norwegen	Ja	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja
15	Südkorea	Nein	CO NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
16	Spanien	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja
17	Schweiz und Liechtenstein	Nein	NO ₂ O ₃ PM ₁₀	Ja	Nein
18	U.K.	Nein	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
19	USA	Nicht gefunden	CO NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
20	Usbekistan	Nein	CO NO NO ₂ Schwebeteilchen SO ₂	Ja	Nein
21	Breezometer AQI	Nicht gefunden	CO NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Ja

ID	Land / Region	Berücksichtigung der WHO AQG 2021	Eingeschlossene Schadstoffe	Datenquelle: Messungen	Datenquelle: Modellierung
22	Plume AQI	Ja	NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀	Ja	Ja
23	World AQI	Ja	CO NO ₂ O ₃ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein
24	Airly AQI	Ja	CO NO ₂ O ₃ PM ₁ PM _{2.5} PM ₁₀ SO ₂	Ja	Nein

Tabelle 13 zeigt über welchen Zeitraum die von den ausgewählten LQI verwendeten Messdaten gemittelt werden. Der derzeit geltende UBA LQI verwendet als Mittelungszeit den 1h-Mittelwert für NO₂ und O₃ sowie den gleitenden 24h-Mittelwert für PM_{2.5} und PM₁₀. Dies sind gängige Mittelungszeiten, die von einer Vielzahl von LQI weltweit verwendet werden. SO₂ wird derzeit im UBA LQI nicht berücksichtigt. Die WHO global air quality guidelines 2021 geben Empfehlungen für verschiedene Mittelungszeiten: jährlich und 24 Stunden für PM_{2.5}, PM₁₀ und NO₂ sowie jährlich und Achtstundentagesmaxima für Ozon.

Andere verwendete Mittelungszeiten sind:

- **NO₂**: Alternativen zum 1h-Mittelwert für NO₂ werden vom französischen ATMO-Index (1h-Tagesmaximum), der Tschechischen Republik (gleitender 3h-Mittelwert), Airly und Hongkong (24h-Mittelwert) sowie Usbekistan (aktueller und 24h-Mittelwert) verwendet.
- **O₃**: Alternativen zum 1h-Mittelwert für Ozon werden vom französischen ATMO-Index (1h-Tagesmaximum), der Tschechischen Republik (gleitender 3h-Mittelwert), Airly und Irland (8h-Mittelwert), Spanien, Großbritannien und den USA (gleitender 8h-Mittelwert) verwendet.
- **PM_{2.5}**: Alternativen zum 24h-Mittelwert für PM_{2.5} werden von Australien (NSW) (1h-Mittelwert), Belgien (1h-Mittelwert), Breezometer (1h-Mittelwert), den Niederlanden (1h-Mittelwert), Norwegen (1h-Mittelwert), Hongkong (1h-Mittelwert) sowie Usbekistan (aktueller und jährlicher Mittelwert) verwendet. PM_{2.5} ist jedoch nicht in allen ausgewählten LQI enthalten (z. B. Tschechische Republik, Deutschland (Berlin), Schweiz und Liechtenstein).
- **PM₁₀**: Alternativen zum 24h-Mittelwert für PM₁₀ werden von Australien (NSW) (1h-Mittelwert), Belgien (1h-Mittelwert), Breezometer (1h-Mittelwert), den Niederlanden (1h-Mittelwert), Norwegen (1h-Mittelwert), Hongkong (1h-Mittelwert), der Tschechischen Republik (gleitender 3h-Mittelwert) und Usbekistan (aktueller und jährlicher Mittelwert) verwendet.
- **SO₂**: In den meisten LQI, die SO₂ enthalten, wird ein 1h-Mittelwert verwendet (Australien (NSW), Breezometer, Europa, Frankreich, Deutschland (Berlin), Irland, Monaco, Norwegen, Südkorea). Das Vereinigte Königreich verwendet eine Mittelungszeit von 15 Minuten und die USA 24 Stunden.

Für kürzere Mittelungszeiten wird vor allem die Möglichkeit zur akuten und zeitgerechten Warnung der Bevölkerung angeführt. So wurde z. B. im belgischen LQI bei dessen Überarbeitung im Jahr 2022 der Mittelungszeitraum für PM von 24 Stunden auf eine Stunde reduziert. Begründet wird dies damit, dass bei Nutzung eines 24h-Mittelwertes eine schnelle Zu- oder

Abnahme der Luftschadstoffe im LQI nicht zeitnah abbildbar ist (irCELine 2022b). Ähnlich kritisiert die US-EPA für den täglichen LQI, dass dieser aufgrund des 24h-Mittelwertes die Luftqualität des Vortags wiedergebe. Daher verwenden sie zusätzlich einen „NowCast“, um zusätzlich zum täglichen LQI die aktuelle Luftqualität zu melden, welche auch an Tagen mit insgesamt hoher Luftverschmutzung zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages günstiger sein kann. Die Anzeige des aktuellen LQI sowie eine stündliche Vorhersage ermöglichen es den Menschen, ihre Aktivitäten zu planen und ihre Zeit im Freien zu reduzieren, wenn die Luftqualität schlecht ist. Eine Besonderheit des US-EPA LQI ist die Verwendung unterschiedlicher Mittelungszeiten in Abhängigkeit von der aktuellen Luftqualität. Längere Mittelungszeiten werden verwendet, wenn die Luftqualität stabil ist, und kürzere Mittelungszeiten, wenn sich die Luftqualität schnell ändert (United States Environmental Protection Agency 2018). Für den kanadischen LQI werden für alle Schadstoffe laufende 3h-Mittelwerte verwendet. Dies wird damit begründet, dass der LQI auf kurzfristige Änderungen der Luftqualität reagieren soll. Der laufende 3h-Mittelwert wird als stabiler angesehen als ein 1h-Mittelwert (Stieb et al. 2008).

Tabelle 13: Genutzte Mittelungszeiten für NO₂, O₃, PM_{2.5}, PM₁₀ und SO₂

ID	Land/ Anbietende	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂
-	Deutschland (UBA)	1 h	1 h	GMW 24 h	GMW 24 h	-
1	Australien (NSW)	1 h	1 h, GMW 4 h	1 h	1 h	-
2	Belgien	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h
3	Kanada	GMW 3 h	Nicht gefunden	GMW 3 h	-	-
4	Tschechische Republik	GMW 3 h	GMW 3 h	-	GMW 3 h	-
5	Europa	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h
6	Frankreich	1h-Tages- maximum	1h-Tages- maximum	24 h	24 h	1h-Tages- maximum
7	Deutschland (BW)	1 h	1 h	24 h	24 h	-
8	Deutschland (Berlin)	1 h	1 h	-	24 h	1 h
9	Hongkong	1 h, 24 h	1 h, 8 h	1 h, 24 h	1 h, 24 h	-
10	Irland	1 h	8 h	24 h	24 h	1 h
11	Luxemburg	1 h, 1 h-Tages- maximum	1 h, 1 h-Tages- maximum	GMW 24 h	GMW 24 h	-
12	Monaco	1h-Tages- maximum	1h-Tages- maximum	24 h	24 h	1h-Tages- maximum
13	Niederlande	1 h	1 h	1 h	1 h	-

ID	Land/ Anbietende	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂
14	Norwegen	1 h	1 h	1 h, 24 h	1 h, 24 h	1 h
15	Südkorea	1 h	1 h	24 h	24 h	1 h
16	Spanien	1 h	8 h	24 h	24 h	-
17	Schweiz und Liechtenstein	GMW 24 h	1 h	-	GMW 24 h	-
18	U.K.	1 h	GMW 8 h	24 h	24 h	15 min
19	USA	1 h	1 h, 8 h	24 h	24 h	1 h, 24 h
21	Breezometer	1 h	1 h, 8 h	1 h, 24 h	1 h, 24 h	1 h
24	Airly AQI	24 h	8 h	24 h	24 h	-

Für Usbekistan, Plume und World AQI wurden keine Mittelungszeiten gefunden, weshalb sie in der Tabelle fehlen. Wenn nicht anders angegeben, handelt es sich um Mittelwerte. Falls explizit angegeben, dass es sich um gleitende Mittelwerte (GMW) handelt, wurde dies vermerkt.

2.2.5.2 Anzahl der Bewertungsklassen

Im Allgemeinen ist die Anzahl der Klassen in den verschiedenen LQI unterschiedlich: es werden zwischen drei und 17 Klassen verwendet. Für den UBA LQI wird eine Fünf-Klassen-Skala mit Deskriptoren, aber ohne numerische Skala verwendet.

Am häufigsten werden sechs und zehn Bewertungsklassen verwendet:

- ▶ Drei Klassen (mit Unterklassen A und B) werden in einem LQI verwendet: Tschechische Republik
- ▶ Vier Klassen werden in drei LQI verwendet: Norwegen, Südkorea, Usbekistan
- ▶ Fünf Klassen werden in einem LQI verwendet (zusätzlich zum UBA LQI): Australien (NSW)
- ▶ Sechs Klassen werden in zehn LQI verwendet: Europäischer AQI, Frankreich, Deutschland (BW), Deutschland (Berlin), Spanien, USA, Breezometer AQI, Plume AQI, World-AQI, Airly AQI
- ▶ Zehn und mehr Klassen werden in neun LQI verwendet: Belgien, Irland, Luxemburg, Monaco, U.K., Kanada, Hongkong, Niederlande, Schweiz

Die genauen Klassengrenzen werden oft pragmatisch festgelegt und orientieren sich an jährlichen, täglichen und stündlichen Grenz- oder Richtwerten.

Bei LQI mit einer höheren Anzahl von Klassen werden die Klassen oft gruppiert, z. B. werden die ersten drei Klassen zu einer Kategorie mit der Bezeichnung „niedrig“ zusammengefasst. Daher können die Anzahl der Klassen und die Anzahl der für Gesundheitsempfehlungen verwendeten Kategorien variieren:

- ▶ Hongkong: Zehn Klassen, aufgeteilt in fünf Kategorien für Gesundheitsempfehlungen
- ▶ Irland: Zehn Klassen, aufgeteilt in vier Kategorien für Gesundheitsempfehlungen
- ▶ Monaco: Zehn Klassen, aufgeteilt in sieben Kategorien für Gesundheitsempfehlungen

- Niederlande: Elf Klassen, aufgeteilt in fünf Kategorien für Gesundheitsempfehlungen
- Schweiz: 17 Klassen, aufgeteilt in sechs Kategorien für Gesundheitsempfehlungen
- Großbritannien: Zehn Klassen, aufgeteilt in vier Kategorien für Gesundheitsempfehlungen

2.2.5.3 Konstruktion des Gesamtindex

In Tabelle 14 werden methodische Informationen zur Konstruktion des Gesamtindex sowie die zugrunde liegende Datenbasis zur Ableitung von Bewertungsklassen aufgeführt. Bei den meisten LQI werden zunächst für jeden Schadstoff Einzelindizes gebildet und diese dann zu einem Gesamtindex zusammengefasst. Dabei definiert bei fast allen LQI der höchste Einzelindex den Gesamtindex. In den Niederlanden gibt es eine Sonderform, bei der je nach Anzahl und Höhe der Einzelschadstoffe der Gesamtindex um eine Kategorie erhöht wird, um der Wechselwirkung von mehreren erhöhten Schadstoffen Rechnung zu tragen.

Tabelle 14: Grundlagen der Festlegung der Bewertungsklassen

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
-	Deutschland	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf behördlichen Empfehlungen und Grenzwerten wie der EU- Luftqualitätsrichtlinie Richtlinie 2008/50/EG 2008 und den WHO-AQG 2005	Nein
1	Australien (NSW)	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf Nationalem Umweltschutzgesetz (Maßnahmen für die Luftqualität der Umgebungsluft) 2021 (National Environment Protection Council 2021)	Nein
2	Belgien	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf WHO global air quality guidelines 2021, Richtlinie 2008/50/EG 2008	Nein
3	Kanada	Der prozentuale Anstieg der Sterblichkeit (im Vergleich zu einer Schadstoff- konzentration von Null) wird für jeden	Gesamtindex basiert auf einer Addition von Über- sterblichkeiten aufgrund	Die Skala ist gleichmäßig in vier Klassen eingeteilt (1-3, 4-6, 7-10, 10+). Werte größer als 10 zeigen an, dass das Übersterblichkeitsrisiko	Ja

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
		Schadstoff berechnet und dann über alle Schadstoffe summiert, gewichtet mit der durchschnittlichen Anzahl der Todesfälle pro Tag und Stadt. Diese Werte werden auf einer unbeschränkten Skala von 0 bis 10+ skaliert.	einzelner Schadstoffe	größer ist als der maximale gewichtete Mittelwert.	
4	Tschechische Republik	LQI wird als Durchschnitt des Verhältnisses zwischen der aktuellen Konzentration und einem Referenzwert berechnet in der Skala von 0 bis 2+.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Die Referenzwerte basieren auf WHO AQG 2005. Die Skala ist gleichmäßig in drei Klassen eingeteilt (0-0.66, 0.7-1.49, 1.5-2+).	Nein
5	Europa	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf WHO HRAPIE-Projekt Ergebnissen, Richtlinie 2008/50/EG 2008, und WHO AQG 2005	Nein
6	Frankreich	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf dem europäischen AQI (ID5)	Nein
7	Deutschland (BW)	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt. Die Klassengrenzen der Bewertungsklassen verändern sich, wenn Mehrfachbelastungen vorliegen.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf der Richtlinie 2008/50/EG 2008, und den Empfehlungen der FoBiG GmbH	Ja
8	Deutschland (Berlin)	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen sind unter Berücksichtigung epidemiologischer und toxikologischer Untersuchungen sowie der Grenzwerte nach der 39. BImSchV abgeleitet (Griem et al. (2000), Griem et al. (2001)). Die	Nein

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
				Klasse 5 („schlecht“) entspricht dem Überschreiten des EU-weit gültigen Grenz- oder Informationswertes für diesen Schadstoff.	
9	Hongkong	LQI basiert auf dem kanadischen LQI (ID3)	Gesamtindex basiert auf einer Addition von Übersterblichkeiten aufgrund einzelner Schadstoffe	Die Skala ist gleichmäßig in vier Klassen eingeteilt (1-3, 4-6, 7-10, 10+).	Ja
10	Irland	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Nicht gefunden	Nein
11	Luxemburg	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Nicht gefunden	Nein
12	Monaco, Region Côte d’Azur	Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex basiert auf einer Addition von Einzelindizes	Bewertungsklassen basieren auf den Schwellenwerten des europäischen AQI und auf der WHO AQG 2021 für den jährlichen Luftqualitätsindex. Angepasste Skalen existieren für städtische Gebiete und das Umland (keine Details gefunden)	Ja
13	Niederlande	Unter Nutzung von linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen werden risikoäquivalente Schadstoff-Bewertungsklassen für stündliche Belastungen konstruiert. Hierfür wird die gesundheitliche Auswirkung pro	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex plus Hochstufung bei Mehrfachbelastung	Bewertungsklassen von PM _{2.5} basieren auf WHO AGQ 2005. Die Bewertungsklassen der anderen Schadstoffe werden mit Hilfe eines Äquivalenzkoeffizienten an die PM _{2.5} -Skala angepasst. Der LQI wird um eine Klasse erhöht, wenn alle einzelnen	Ja

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
		Anstieg der Schadstoff- konzentration um 10 µg/m ³ bestimmt und diese zwischen den Schadstoffen ins Verhältnis gesetzt.		Komponentenindizes auf der oberen dritten Stufe von drei Stufen der gleichen Klasse liegen.	
14	Norwegen	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf WHO AQG 2021 und Studien aus den nordischen Ländern.	Nein
15	Südkorea	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Klassen eingeteilt und auf einer Skala von 0 bis 500 skaliert.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf Nationalen Immissionsrichtlinien für Luftqualität. Die Skala 0-500 wurde willkürlich festgelegt, und die Schadstoff- konzentrationen wurden auf die Klassen skaliert. Wenn mehr als zwei Schadstoffe als „ungesund“ oder „sehr ungesund“ eingestuft werden, wird die höchste Punktzahl entsprechend um 50 oder 75 Punkte erhöht	Ja
16	Spanien	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf den Schwellenwerten des europäischen AQI (ID5)	Nein
17	Schweiz und Liechtenstein	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf den Prozentsätzen der aktuellen Konzentration im Verhältnis zu den gültigen Grenzwerten der nationalen Luftreinhalteverordnung.	Nein
18	U.K.	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Indexklassen eingeteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Bewertungsklassen basieren auf der Richtlinie 2008/50/EG 2008, UK Luftqualitätsziele und WHO AQG 2005.	Nein

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
19	USA	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Relation zu nationalen Luftqualitätsstandards (entspricht 100) skaliert. LQI-Werte bei oder unter 100 gelten als zufriedenstellend. Wenn der LQI-Wert über 100 liegt, ist die Luftqualität ungesund. Der LQI wird auf der Skala von 0 bis 500 in sechs Kategorien unterteilt.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Basis sind die US EPA- Luftqualitätsstandards	Nein
20	Usbekistan	Der LQI wird für jeden Schadstoff berechnet als das Verhältnis der aktuellen Konzentration zur maximal zulässigen Konzentration (akut, täglich, jährlich).	Gesamtindex basiert auf einer Addition von Einzelindizes	Die maximal zulässigen Konzentrationen basieren auf den nationalen Leitlinien. Wenn der LQI aller Schadstoffe ≤ 1 ist (d.h. die tatsächliche Konzentration ist niedriger als die maximal zulässige Konzentration), ist der Index ≤ 5 und wird als niedrig interpretiert.	Nein
21	Breezometer AQI	Der LQI wird auf der Grundlage umfangreicher Modellierung und künstlicher Intelligenz konstruiert.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Nicht gefunden	Nein
22	Plume AQI	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Klassen eingeteilt und skaliert von 0 bis 300+.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Beurteilungsklassen basieren auf WHO AQG 2021, chinesischen und französischen Rechtsvorschriften	Nein
23	World AQI	Schadstoff- konzentrationen werden einzeln in Klassen eingeteilt und skaliert von 0 bis 500+.	Gesamtindex entspricht höchstem Einzelindex	Ähnlich den USA (ID19)	Nein
24	Airly AQI	Der LQI zeigt den Grad der Luftverschmutzung im Vergleich zu	Gesamtindex entspricht	Bewertungsklassen können auf verschiedene Richtlinien umgestellt	Nein

ID	Land/ Region	Methode zur Ableitung des LQI- Wertes	Konstruktions- methode des Gesamtindex	Methode zur Festlegung von Bewertungsklassen	Berück- sichtigung einer Mehrfach- belastung
		Richtwerten an. Eine Anzeige von 500 bedeutet, dass die Werte das Fünffache des Richtwerts betragen.	höchstem Einzelindex	werden: WHO AQG 2021, polnische Richtlinien oder DEFRA Richtlinien.	

Für viele der ausgewählten LQI waren keine genauen Informationen über die Ableitung der Bewertungsklassen und deren wissenschaftliche Grundlage auffindbar (siehe Tabelle 14). Zu den im Folgenden aufgeführten LQI finden sich ausführlichere Informationen auf den jeweiligen Webseiten bzw. in den Veröffentlichungen. Wichtige Elemente der LQI werden hier dargestellt, soweit sie recherchiert werden konnten.

UBA LQI: Die Bewertungsklassen des aktuellen UBA LQI (Tabelle 15) orientieren sich an verschiedenen behördlichen Empfehlungen und Grenzwerten wie der EU-Luftqualitätsrichtlinie (Richtlinie 2008/50/EG 2008) und den WHO AQG 2005 (2006). Dabei werden sowohl gesundheitsbezogene Kurz- und Langzeitrichtwerte als auch präventive Aspekte berücksichtigt, wie im Folgenden für jeden berücksichtigten Stoff vorgestellt wird:

- ▶ **PM₁₀:** Die Klasse „sehr gut“ reicht von 0 bis 20 µg/m³ und orientiert sich am WHO AQG 2005 (2006) Jahresrichtwert von 20 µg/m³. Der Bereich „gut“ ist präventionsorientiert und mit einer Obergrenze von 35 µg/m³ pragmatisch definiert. Der Bereich „mäßig“ bezieht sich auf Schadstoffkonzentrationen, bei denen bei längerer Exposition gesundheitliche Auswirkungen zu erwarten sind, wie in den Zwischenzielen² der WHO AQG 2005 (2006) angegeben, und beinhaltet den EU-Jahreszielwert von 40 µg/m³. Die Untergrenze des Bereichs „schlecht“ liegt bei dem EU-Tageszielwert von 50 µg/m³. Der Bereich „sehr schlecht“ umfasst Schadstoffkonzentrationen über 100 µg/m³.
- ▶ **PM_{2,5}** wurde später in den LQI aufgenommen, wobei die Bewertungsklassen des europäischen AQI übernommen wurden (Tobollik et al. 2021).
- ▶ **NO₂:** Der Jahresrichtwert von 40 µg/m³ (Richtlinie 2008/50/EG 2008) wird als Obergrenze für den Bereich „gut“ verwendet. Für die mittlere Klasse „mäßig“ wird der vom Verein Deutscher Ingenieure vorgeschlagene Wert von 100 µg/m³ gewählt. Konzentrationen über 200 µg/m³ (Richtlinie 2008/50/EG 2008 1h-Grenzwert) werden aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit kurzfristiger gesundheitlicher Auswirkungen als „sehr schlecht“ eingestuft (Tobollik et al. 2021).
- ▶ **O₃:** Der Schwellenwert von 60 µg/m³ für die Obergrenze des Bereichs „sehr gut“ ist präventionsorientiert und pragmatisch definiert. Der Bereich „gut“ geht bis 120 µg/m³, was dem 8h-Zielwert der Richtlinie 2008/50/EG 2008 entspricht. Die Informationsschwelle von 180 µg/m³ definiert die Obergrenze des Bereichs „mäßig“. Konzentrationen zwischen 181

² Zugleich enthalten die WHO AQG 2021 nicht nur empfohlene Richtwerte, sondern auch sogenannte Zwischenziele. Diese Zwischenziele sind höhere Werte als die Richtwerte und können von Behörden in Ländern mit hoher Luftschadstoffbelastung genutzt werden, um stufenweise Maßnahmen zur Reduzierung der Luftverschmutzung zu entwickeln. Sie sollten als Hilfen und Zwischenschritte auf dem Weg zur Erreichung der Richtwerte gesehen werden.

und $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden als „schlecht“ und über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als „sehr schlecht“ eingestuft, was der Alarmschwelle der Richtlinie 2008/50/EG entspricht (Tobollik et al. 2021).

Tabelle 15: Bewertungsklassen des UBA LQI

Index	Stundenmittel NO ₂ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Stündlich gleitendes Tagesmittel PM ₁₀ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Stündlich gleitendes Tagesmittel PM _{2.5} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Stundenmittel O ₃ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sehr schlecht	>200	>100	>50	>240
Schlecht	101-200	51-100	26-50	181-240
Mäßig	41-100	36-50	21-25	121-180
Gut	21-40	21-35	11-20	61-120
Sehr gut	0-20	0-20	0-10	0-60

Quelle: Umweltbundesamt

Belgien: Der aktuell angezeigte LQI basiert auf den aktuellsten (stündlichen) Konzentrationen. Der LQI für die vorangegangenen Tage und der prognostizierte Index werden anhand der Tagesmittelwerte (PM_{2.5}, PM₁₀ und NO₂) und der höchsten 8h-Mittelwerte (O₃) berechnet. Für den belgischen LQI werden der Jahresrichtwert der WHO global air quality guidelines 2021, der Tagesrichtwert und das Zwischenziel 2 für die einzelnen Schadstoffe verwendet (Tabelle 16). Die Klassen werden für die Tageskonzentrationen der Schadstoffe gebildet. Wenn die Jahresrichtwerte für NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ oder O₃ überschritten werden, erhält der LQI mindestens die Skalenummer 3 („good“). Bei Überschreitung der WHO-Tagesrichtwerte für NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ oder des maximalen 8h-Mittelwertes für O₃ erhält der LQI mindestens eine 6 auf der Skala („poor“). Wird das Zwischenziel 1 für Ozon überschritten, liegt der LQI auf der Skala bei 8 („bad“). Im Falle einer Überschreitung des Zwischenziels 2 für NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ wird die höchste LQI-Skala (10, „horrible“) angezeigt (irCELine 2022a).

Im Gegensatz zu den anderen Schadstoffen wird für O₃ das deutlich schwächere Zwischenziel 1 anstatt des strengereren Zwischenziels 2 genutzt. Hierdurch wird die Teilindexskala für O₃ nach oben zu höheren Konzentrationen verschoben, wodurch eine Häufung von Tagen mit schlechter Qualitätsbeurteilung vermieden wird (irCELine 2022b). Eine Herausforderung bestand darin, die Richtwerte der WHO AQG 2021 für 1h-Mittelungszeiten anzupassen. Daher wird für NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ die Beziehung zwischen den 24h-Mittelwerten und den 1h-Tagesmaxima verwendet und für O₃ die Beziehung zwischen dem 8h-Mittelwert und dem 1h-Tagesmaximum (irCELine). Die Beziehungen von 1h-Tagesmaxima zu 24h-Mittelwerten wurden anhand von belgischen Messdaten für alle Tage im Zeitraum 2017-2019 berechnet. Dieses Verhältnis wird verwendet, um die in Tabelle 16 genannten Konzentrationsklassen (die auf 24h-Mittelwerten basieren) in Konzentrationsklassen für 1h-Mittelwerte umzurechnen.

Tabelle 16: Bewertungsklassen des belgischen LQI, unter Berücksichtigung der WHO AQG 2021

Index	Einstufung	Tagesmittel PM ₁₀ in µg/m ³	Tagesmittel PM _{2,5} in µg/m ³	O ₃ max. 8 h	Tagesmittel NO ₂ in µg/m ³	Begründungen
1	Excellent	0 - 5	0 - 2.5	0 - 30	0 - 5	Nicht gefunden
2	Very good	6 - 15	2.6 - 5.0	31 – 60	6 - 10	Nicht gefunden
3	Good	16 – 25	5.1 – 7.5	61 – 70	11 - 15	Jahresrichtwert PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂ ; Sommerdurchschnitt der WHO AQG 2021 (O ₃)
4	Fairly good	26 – 35	7.6 – 10	71 – 80	16 – 20	Nicht gefunden
5	Moderate	36 – 45	11 – 15	81 – 100	21 – 25	Nicht gefunden
6	Poor	46 – 60	16 – 25	101 – 130	26 – 30	Tageslimit PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂ ; Maximalwert 8h (O ₃) der WHO AQG 2021
7	Very poor	61 – 70	26 – 35	131 – 160	31 – 35	Nicht gefunden
8	Bad	71 – 80	36 – 40	161 – 190	36 – 40	WHO AQG 2021 Zwischenziel 1 für O ₃
9	Very bad	81 – 100	41 – 50	191 – 220	41 – 50	Nicht gefunden
10	Horrible	>100	>50	>220	>50	WHO AQG 2021 Zwischenziel 2 für PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂

Quelle: irCELine, 17.07.2023

Kanada: Für den kanadischen AQHI wird die prozentuale Übersterblichkeit im Vergleich zu keiner Luftverschmutzung (die Konzentration eines Schadstoffs wird mit 0 µg/m³ angegeben) berechnet und zu einem Gesamtindex aufaddiert. Der AQHI berücksichtigt nur drei Schadstoffe, da Untersuchungen von Health Canada ergeben haben, dass NO₂, Ozon und PM_{2,5} die größten Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben (Health Canada 2019). Zur Berechnung der Übersterblichkeit durch kurzfristige Schadstoffhöhungen wurden zwei Beobachtungszeiträume analysiert (1981-1990 im Vergleich zu 1991-2000). Hierzu wurden Daten aus der nationalen Mortalitätsdatenbank von Statistics Canada verwendet (Todesfälle durch natürliche Ursachen, ICD-9 <800 und ICD-10 Codes A00-R99). Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen den Schadstoffkonzentrationen und der Übersterblichkeit wurden lineare Einschadstoffmodelle berechnet. Die aus der Analyse resultierenden Schätzer können auf die aktuell zu bewertende Zeitperiode angewendet werden, um die aktuelle Übersterblichkeit zu berechnen. Der Gesamtindex entsteht durch Addition von Übersterblichkeiten aus den Einschadstoffmodellen für die drei Schadstoffe. Um eine numerisch einfache Indexskala von 0 bis 10 zu erstellen, wird die berechnete Übersterblichkeit, die mit der durchschnittlichen Zahl der Todesfälle pro Tag in der jeweiligen Stadt während eines Zeitraums gewichtet war, durch Multiplikation jedes Wertes mit 10 und Division durch den Maximalwert der Übersterblichkeit für den Zeitraum transformiert. Werte über 10 weisen auf ein Übersterblichkeitsrisiko hin, das höher als der im Referenzzeitraum beobachtete Messwert ist. (Stieb et al. 2008).

Europa: Für die Ableitung der Bewertungsklassen des europäischen AQI werden die relativen Risiken für eine kurzfristige Exposition gegenüber NO₂, Ozon und PM_{2.5} aus dem HRAPIE-Projekt der WHO genutzt. Das relative Risiko der PM_{2.5}-Exposition dient als Grundlage für die Berechnung des Index. Unter Nutzung der linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen werden Risiko-äquivalente Schadstoff-Bewertungsklassen konstruiert, indem ein äquivalentes relatives Risiko für einen Anstieg des PM_{2.5}-Tagesmittelwerts um 10 µg/m³ verwendet wird. (European Environment Agency 2021). Der europäische AQI für Verkehrsstationen wird nur mit NO₂ und PM (PM_{2.5}, PM₁₀ oder beide) berechnet. Für Industrie- und Hintergrundstationen wird der europäische AQI mindestens mit Daten für die drei Schadstoffe NO₂, O₃ und PM berechnet.

Deutschland (Baden-Württemberg): Die Konstruktion der Bewertungsklassen des baden-württembergischen LQI basiert hauptsächlich auf den EU-Luftqualitätsrichtlinien 2002/3/EG und 2008/50/EG. Darüber hinaus wird sich auf Studien zu Sterblichkeit und Krankenhausaufenthalten aufgrund von Luftverschmutzung bezogen. Die Klassen für NO₂ beruhen auf epidemiologischen Studien und auf der Richtlinie 2008/50/EG (dem Jahresrichtwert, dem Richtwert für den 1h-Mittelwert und der Alarmschwelle). Für Ozon wird festgestellt, dass es nur sehr wenige Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen niedriger Konzentrationen gibt. Daher stützt sich die Konstruktion der unteren Klassen auf Studien, die Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Ozon bei vulnerablen Personengruppen geben. Für den Indexbereich 3 („mäßig“) wird eine Studie zitiert, die einen Zusammenhang zwischen der Ozonkonzentration und der Sterblichkeit an Atemwegserkrankungen aufzeigt. Für die höheren Klassen werden der Zielwert für den 8h-Mittelwert für Ozon (Richtlinie 2008/50/EG 2008) und der Informationswert (Richtlinie 2002/3/EG) sowie epidemiologische Studien der WHO und Meta-Analysen zu Sterblichkeit, Lungenfunktionsminderung und Atemwegsentzündung herangezogen. Die Klassen für PM₁₀ und PM_{2.5} basieren auf epidemiologischen Studien zur Sterblichkeit sowie auf dem Jahres- und Tagesgrenzwert der Richtlinie 2008/50/EG. Die Klassengrenzwerte für PM_{2.5} werden teilweise aus den Grenzwerten für PM₁₀ berechnet. Eine Besonderheit des LQI ist, dass sich die Klassengrenzen der Bewertungsklassen verändern, wenn Mehrfachbelastungen vorliegen. Die Konstruktion der Klassen basiert zum Teil auf epidemiologischen Studien, die über gesundheitliche Auswirkungen aufgrund von Mehrfachbelastungen berichten. So werden beispielsweise schädlichere Wirkungen von O₃ in Kombination mit anderen Luftschadstoffen bei niedrigeren Konzentrationen gemeldet als bei O₃ allein. Jedoch wird beschrieben, dass dieses Vorgehen mit Unsicherheiten verbunden sein kann, da die kombinierten Gesundheitseffekte noch nicht vollständig erforscht sind (Luftqualitätsindex Baden-Württemberg 2020).

Hongkong: Die Methode dieses LQI basiert auf dem kanadischen AQHI. Die kanadische Methode wurde dahingehend geändert, dass anstelle der Sterblichkeitsrate die Krankenhauseinweisungen für Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen herangezogen wurden. Als Grund wird angegeben, dass Krankenhauseinweisungen geeignete Gesundheitsindikatoren sind, da Hongkong über einen umfassenden und einheitlichen Datensatz aus öffentlichen Krankenhäusern verfügt. Der LQI wird als Summe der prozentualen zusätzlichen Risiken für die täglichen Krankenhauseinweisungen für die einzelnen Schadstoffe berechnet. Anders als im kanadischen AQHI wird PM₁₀ und nicht PM_{2.5} genutzt, da für PM₁₀ Daten von allen Luftüberwachungsstationen verfügbar sind, während PM_{2.5} nur an wenigen Stationen gemessen wird. Die Klassengrenzen für die Bewertungsklassen „hoch“ und „sehr hoch“ entsprechen einem Anstieg des Risikos von Krankenhauseinweisungen um 11.3 % und 12.9 % (Tan et al. 2023). Für die erhöhten Gesundheitsrisiken für Kinder unter fünf Jahren und Menschen über 65 Jahren wurden gesonderte Berechnungen durchgeführt. Im Hinblick auf das verwendete Verfahren wird im Bericht von Wong et al. (2021) erörtert, dass die einfache Summierung der zusätzlichen Risiken das Gesamtrisiko wahrscheinlich überschätzt.

Es werden zwei Typen von Stationen unterschieden, für die der LQI gültig ist. Der allgemeine LQI gibt den Grad der Luftverschmutzung an, dem man die meiste Zeit ausgesetzt ist. Der straßenseitige LQI gibt Auskunft über den Grad der Luftverschmutzung speziell am Straßenrand, bei sehr starkem Verkehr und hohen Gebäuden in der Umgebung an (WorkGovHK. Environmental Protection Department).

Zusätzlich zum Kurzzeit-LQI liefert Hongkong einen Langzeit-LQI (JLQI), der auf dem gleitenden 12-Monats-Durchschnitt der Konzentration im Vergleich zu den jährlichen WHO-AQG-Werten basiert. Level 1 des JLQI bedeutet, dass die Konzentration der Luftschadstoffe dem jährlichen AQG-Wert der WHO entspricht. Demnach übersteigt der JLQI Level 1, wenn die Luftverschmutzung die WHO-Jahresrichtwerte überschreitet (Hong Kong EPD 2023).

Monaco: Für NO₂ und O₃ werden die stündlichen Schwellenwerte des europäischen AQI verwendet. Auf nationaler Ebene entspricht das Verhältnis zwischen dem 24h-Mittelwert und den stündlichen Tageshöchstwerten etwa dem Faktor 2. Um stündliche Werte zu erhalten, werden die Schwellenwerte des europäischen AQI verdoppelt (AtmoSud. Ministère de la Transition écologique 2023).

Niederlande: Der niederländische LQI berücksichtigt die tägliche Übersterblichkeit sowie die Krankenhauseinweisungen aufgrund von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch die Schadstoffe NO₂, O₃ und PM_{2.5}. Es wird von einer linearen Expositions-Wirkungsbeziehung ausgegangen und davon, dass es keinen Schwellenwert gibt, unterhalb dessen keine Gesundheitsgefährdung durch die Schadstoffe gegeben ist. Unter Nutzung von linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen werden Risiko-äquivalente Schadstoff-Bewertungsklassen für stündliche Belastungen konstruiert. Hierfür wird die gesundheitliche Auswirkung pro Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³ bestimmt und diese zwischen den Schadstoffen ins Verhältnis gesetzt. Die Klassen orientieren sich an den Richtwerten der WHO (Dusseldorp et al. 2014). Ausgehend von den empfohlenen PM_{2.5}-Richtwerten werden vier Klassen willkürlich gebildet, die anschließend in zehn Unterklassen unterteilt werden. Der Gesamtindex erhöht sich um eine Klasse, wenn alle Einzelindizes im oberen Bereich einer Klasse liegen (Dusseldorp et al. 2014).

Spanien: Für die Berechnung des spanischen LQI wird der Anstieg der Sterblichkeit pro 10 µg/m³ Anstieg der durchschnittlichen Tageskonzentration von PM_{2.5} verwendet. Für PM₁₀ wird ein konstantes Verhältnis zwischen PM₁₀ und PM_{2.5} von 1:2 angenommen. Unter Nutzung von linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen werden Risiko-äquivalente Schadstoff-Bewertungsklassen für O₃ und NO₂ konstruiert (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020). Die Klassen orientieren sich an den Richtwerten der WHO und EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG (Richtlinie 2008/50/EG 2008).

Schweiz: Die Obergrenzen der Klassen entsprechen den Grenzwerten der Luftreinhalteverordnung (König Minger et al. 2020):

- Klasse 1: Obergrenze entspricht 50 % der Grenzwerte
- Klasse 2: Obere Grenze entspricht den Grenzwerten
- Klasse 3: Obere Grenze entspricht 112.5 % der Grenzwerte
- Klasse 4: Obere Grenze entspricht 150 % der Grenzwerte und dem Informationswert für PM und Ozon

- Klasse 5: Die Obergrenze entspricht 200 % der Grenzwerte und dem Interventionsniveau für PM und Ozon
- Klasse 6: Oberer Grenzwert entspricht der Verschmutzung über 200 % der Grenzwerte

Südkorea: Im südkoreanischen LQI werden zunächst die LQI-Werte für alle Schadstoffe auf einer Punkteskala mit Hilfe einer Formel getrennt berechnet und anschließend wird der höchste Einzel-LQI als Gesamtindex verwendet. Wenn mehr als zwei Schadstoffe als „ungesund“ oder „sehr ungesund“ eingestuft werden, wird die höchste Punktzahl entsprechend um 50 oder 75 Punkte erhöht (AirKorea).

U.K.: Für den britischen LQI wurden in den meisten Fällen die WHO-Richtwerte von 2005 als Klassengrenzen zwischen den Bewertungsklassen übernommen. Dabei wird betont, dass die Klassengrenzen bis zu einem gewissen Grad willkürlich gewählt wurden (Ayres et al. 2011).

USA: Schadstoffkonzentrationen werden einzeln in Relation zu nationalen Luftqualitätsstandards (entspricht 100) skaliert. LQI-Werte bei oder unter 100 gelten als zufriedenstellend. Wenn der LQI-Wert über 100 liegt, ist die Luftqualität ungesund. Der LQI wird auf der Skala von 0 bis 500 in sechs Kategorien unterteilt. Zusätzlich zur Berechnung des 8h-Ozonindexwertes wird der 1h-Ozonwert berechnet und der Höchstwert der beiden Werte wird angegeben.

Plume: Grundlage des PAQI sind die gesundheitlichen Auswirkungen, die durch die Schadstoffe verursacht werden. Die Daten für die gesundheitlichen Auswirkungen wurden den WHO AQG 2021 entnommen (Plume Labs by AccuWeather). Ein PAQI-Wert von 0 bedeutet, dass keine Schadstoffe vorhanden sind, während ein hoher Wert einer starken Luftverschmutzung entspricht. Der Gesamt-PAQI-Wert ist das Maximum der schadstoffspezifischen LQI-Werte. Die fünf Schwellenwerte zwischen den Stufen beruhen auf Empfehlungen der WHO und der Europäischen Kommission sowie auf chinesischen und französischen Rechtsvorschriften (Tabelle 17) (Plume Labs by AccuWeather).

Tabelle 17: Empfehlungen, die den PAQI-Schwellenwerten zugrunde liegen (Plume 2023)

PAQI Schwellenwert	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
Auf Stufe 20	WHO-Jahresrichtwert	WHO-Richtwert für die Hochsaison	WHO-Jahresrichtwert	WHO-Jahresrichtwert
Auf Stufe 50	WHO-Tagesrichtwert	WHO 8h-Mittelrichtwert	WHO-Tagesrichtwert	WHO-Tagesrichtwert
Auf Stufe 100	Stündliche Empfehlung der WHO	Chinesische Empfehlung	Verdopplung des vorherigen Richtwerts	Französische Empfehlung
Auf Stufe 150	Französische Alarmschwelle	Französische Alarmschwelle	Verdopplung des vorherigen Richtwerts	Verdopplung des vorherigen Richtwerts
Auf Stufe 250	Skala wird linear verlängert	Skala wird linear verlängert	Skala wird linear verlängert	Skala wird linear verlängert

Airly: Der Airly AQI berücksichtigt die WHO global air quality guidelines 2021. Die Skala und die Bewertungsklassen zeigen an, um welchen Faktor die Schadstoffwerte größer/kleiner als der Richtwert sind (AWE 2023).

Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen

Im täglichen Leben ist der Mensch in aller Regel einer Mischung von Luftschadstoffen und nicht nur einem einzelnen Schadstoff ausgesetzt. Die meisten LQI werden jedoch für einzelne Schadstoffe getrennt berechnet, wobei der Gesamt-Index durch den höchsten Indexwert eines einzelnen Schadstoffs bestimmt wird. Hierdurch werden evtl. Wechselwirkungen und Synergismen nicht berücksichtigt. Auch der aktuelle UBA LQI konzentriert sich auf die gesundheitlichen Auswirkungen einzelner Luftschadstoffe und berücksichtigt bei der Konstruktion keine Mehrfachbelastungen. Jedoch wird bei den gesundheitlichen Empfehlungen die verstärkende Wirkung von Mehrfachbelastungen genannt. Die WHO global air quality guidelines 2021 gibt keine Empfehlungen für Schadstoffgemische. Die WHO AQG unterstreichen jedoch die Notwendigkeit, umfassende Modelle zur Quantifizierung der Auswirkungen von Mehrfachexpositionen zu entwickeln. Von den ausgewählten LQI wurden Mehrfachbelastungen lediglich in Kanada, Deutschland (BW), Hongkong, den Niederlanden und Südkorea berücksichtigt.

Im Wesentlichen gibt es drei verschiedene Ansätze, um die kombinierten Gesundheitseffekte in Indizes zu berücksichtigen. Der erste Ansatz beinhaltet die Berechnung der erhöhten Sterblichkeit und/oder der Krankenhauseinweisungen für jeden einzelnen Schadstoff und die anschließende Aggregation dieser Auswirkungen, um einen Index zu formulieren. Dieser Ansatz wird von Kanada und Hongkong angewandt. Beim zweiten Ansatz wird von einem Anstieg in die nächsthöhere Klasse ausgegangen (Niederlande) oder es werden zusätzliche Punktzahlen vergeben (Südkorea), wenn mehrere oder alle Schadstoffe einen ähnlichen Bereich auf der Bewertungsskala erreichen. Der dritte Ansatz stützt sich auf die vorhandene Literatur über Synergieeffekte. Die Schwellenwerte der Indexklassen werden geändert, wenn zwei oder mehr Schadstoffe bestimmte Konzentrationen erreichen. Diese Methode wird von Deutschland (BW) angewandt.

Für die verschiedenen Methoden werden einige Unsicherheiten beschrieben. So wird in Cao et al. (2021) erörtert, dass LQI, die darauf basieren, dass der Schadstoff mit der höchsten Punktzahl den Gesamtindex bestimmt, zu einer Unterschätzung des Gesundheitsrisikos führen können, da die additiven Auswirkungen mehrerer Schadstoffe nicht berücksichtigt werden. Für die Methode des kanadischen AQHI wird jedoch diskutiert, dass die direkte Aufsummierung der erhöhten Gesundheitsrisiken aus Einzelschadstoffmodellen zu einer Überschätzung der gesundheitsschädlichen Auswirkungen führen könne (Cao et al. 2021). Einige Anbietende geben hingegen an, dass der Fokus auf einzelne Schadstoffe (der schlechteste Schadstoff definiert den LQI) aufgrund fehlender epidemiologischer Studien zu kombinierten Gesundheitseffekten bevorzugt werden kann (Dusseldorp et al. 2014).

Prognosen, historische Daten

Neben einer Veröffentlichung von aktuellen Informationen zur Luftqualität beinhalten viele LQI auch Angaben zur Prognose der Luftqualität in den nächsten Tagen, eine Darstellung von Luftqualitätsdaten in der Vergangenheit, sowie Angaben über Jahresmittelwerte (Tabelle 18). Eine Vorhersage wird - ähnlich wie bei einer Wettervorhersage - häufig für den nächsten Tag oder einige Tage erstellt, um die Vorausplanung zu erleichtern. Als historische Daten werden Informationen wie beispielsweise die Verteilung früherer LQI-Werte oder Schadstoffkonzentrationen angegeben. Die Bereitstellung von Informationen zur langfristigen

Luftqualität bezieht sich z. B. auf die Angabe von Jahresmittelwerten eines Index, die eine allgemeine Einschätzung der Luftqualität in den letzten Jahren darstellen.

Tabelle 18: Methodische Informationen - Vorhersage, historische Daten, langfristige Informationen

ID	Land/ Region	Dauer der Vorhersage	Historische Daten	Informationen zu langfristiger Luftqualität
-	Deutschland	Aktueller Tag und zwei folgende Tage für PM ₁₀ und O ₃	Mehrere Jahre für die einzelnen Schadstoffe	Ja
1	Australien (NSW)	Nächster Tag	Ab 1994	Ja
2	Belgien	Heute plus drei Tage	15 Tage	Ja
3	Kanada	24 h	24 h	Nicht gefunden
4	Tschechische Republik	Keine Vorhersage	5 Tage, Jahresberichte seit 1997	Ja
5	Europäischer AQI	24 h (stündlich)	48 h, Sieben Tage	Ja (die Verteilung der Indexwerte der letzten 365 Tage)
6	Frankreich	48 h (stündlich)	Auf Anfrage	Ja
7	Deutschland (BW)	72 h	Sechs Wochen	Ja
8	Deutschland (Berlin)	Nicht gefunden	Zwölf Monate	Ja
9	Hongkong	24 h	Ab 1996	Ja
10	Irland	Das Heute, das Morgen und das Übermorgen	Viele Jahre für PM _{2.5} und PM ₁₀	Ja
11	Luxemburg	Nicht gefunden	Sieben Tage	Nicht gefunden
12	Monaco, Region Côte d'Azur	48 h	Nicht gefunden	Ja
13	Niederlande	24 h	Stündliche Werte: Acht Wochen Tägliche Mittelwerte: Zwölf Monate Jährlich: Viele Jahre	Ja
14	Norwegen	24 h	Zwei Wochen	Ja
15	Südkorea	48 h	Letzter Monat, auf Anfrage jährlich und monatlich	Ja
16	Spanien	48 h (stündlich)	Laufendes Jahr	Nicht gefunden

ID	Land/ Region	Dauer der Vorhersage	Historische Daten	Informationen zu langfristiger Luftqualität
17	Schweiz und Liechtenstein	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden
18	U.K.	Fünf Tage (für einen Zeitraum von 24 h, von Mitternacht zu Mitternacht)	Sieben Tage und mehrere Jahre	Ja
19	USA	Nächster Tag	Viele Jahre, z. B. jährliche und tägliche Zusammenfassungen	Ja
20	Usbekistan	Keine Vorhersage	Sieben Tage	Ja
21	Breezometer AQI	96 h	30 Tage	Nicht gefunden
22	Plume AQI	24 h	Auf Anfrage	Nicht gefunden
23	World AQI	Vier Tage	Separat letzte 48 Stunden, letzte 23 Monate und die letzten Jahre	Ja
24	Airly AQI	24 h	24 h	Nein

Die meisten LQI bieten eine Vorhersage, um den Menschen zu helfen, im Voraus zu planen. Der Zeithorizont variiert dabei von wenigen Stunden bis zu mehreren Tagen. Neben dem Vorhersagehorizont unterscheiden sich die Indizes darin, ob die Prognosen für Schadstoffkonzentrationen (z. B. Belgien, Deutschland (Baden-Württemberg), USA), die Indizes einzelner Stoffe (z. B. UBA LQI) oder den kombinierten Index (z.B. Belgien, Deutschland (Baden-Württemberg), Frankreich, Spanien, USA, Breezometer) gegeben werden. Für den UBA LQI wird für O₃ und PM₁₀ eine Vorhersage für den aktuellen Tag und die beiden folgenden Tage bereitgestellt. Eine Vorhersage für den kombinierten LQI wird nicht gegeben.

Der Zeitraum, für den die Luftqualitätsdaten der Vergangenheit der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, ist sehr unterschiedlich. Airly beispielsweise zeigt die LQI-Werte und die Messwerte der einzelnen Schadstoffe für die letzten 24 Stunden an. Luxemburg und Usbekistan zeigen Informationen für die letzten sieben Tage, während andere LQI Daten für viele Jahre bereitstellen. Die Informationen über die Luftqualität in der Vergangenheit erfolgt bei einigen LQI in Form einer Verteilung der Indexwerte in der vergangenen Zeit, oder wird als Monats- oder Jahresmittelwert zur Verfügung gestellt. Der Zugang zu diesen Daten ist in einigen Fällen direkt in der LQI App enthalten, in anderen Fällen finden sich Angaben im Internet oder in Form von Berichten.

Australien (NSW): Auf der Webseite des australischen LQI gibt es einen Bereich mit der Bezeichnung „Data download facility“ (NSW Department of Planning und Environment), über den Luftqualitäts- und meteorologische Daten gesucht und heruntergeladen werden können. Datenkategorien und Parameter können selbst ausgewählt werden, z. B. Mittelwerte, Höchstwerte und Überschreitungen für verschiedene Schadstoffe an einem Standort als auch meteorologische Variablen.

Belgien: Der belgische LQI wird als JLQI in zwei Versionen angezeigt, als interpolierter Jahresmittelwert und als gemessener Jahresmittelwert. Es sei darauf hingewiesen, dass die Datenquellen und das Modell selbst jährlich angepasst und verbessert werden, so dass die JLQI-Werte verschiedener Jahre nur bedingt vergleichbar sind (irCELine 2022a).

Tschechische Republik: Auf der Webseite sind verschiedene zusammenfassende Tabellen verfügbar, wie die jährlichen Durchschnittskonzentrationen der einzelnen Schadstoffe und die maximalen Jahreskonzentrationen an den verschiedenen Messstationen (CHMI. Summary Tabular Survey).

Europa: EEA veröffentlicht diverse Daten, Analysen und Grafiken, z. B. die „Exceedance of air quality standards in Europe“, welche den prozentualen Anteil der Stadtbewohner und Stadtbewohnerinnen aufzeigen, die Schadstoffwerten über den gesetzlichen EU-Normen und über den WHO AQG 2021-Werten ausgesetzt sind (European Environment Agency). Darüber hinaus sind detaillierte Informationen für die einzelnen Messstationen verfügbar, wie die Verteilung der LQI-Werte in den letzten 365 Tagen.

Deutschland (Berlin): Für die einzelnen Schadstoffe und Messstationen liegen Messwerte für verschiedene Mittelungszeiten und verschiedene Zeiträume vor, z. B. Monatswerte und Jahreswerte seit dem Jahr 2001. Diese Daten werden auf der Webseite und in der App (Berliner Luftgütemessnetz) angezeigt.

Hongkong: LQI-Langzeitwerte zeigen den gleitenden 12-Monats-Durchschnitt der Konzentration im Vergleich zu den jährlichen WHO-AQG-Werten.

Monaco: Monaco zeigt ebenfalls LQI-Langzeitwerte (ICAIR365). Der ICAIR365 basiert auf den Jahresmittelwerten der Luftschadstoffe NO₂, O₃, PM_{2.5} und PM₁₀. Diese werden mit einer räumlichen Auflösung von 25 m² zusammengefasst, um ein Gesamtbild der Luftqualität im vergangenen Jahr zu vermitteln.

Norwegen: Ab 2016 werden LQI-Langzeitwerte für die einzelnen Schadstoffe mit hoher räumlicher Auflösung auf Karten dargestellt. Der LQI Langzeitwert ist definiert als Mittelwert aller Tagesmittelwerte der Konzentrationen eines Kalenderjahres. Die Belastungskarte zeigt die berechnete durchschnittliche Konzentration (und nicht LQI-Werte) während eines Jahres (Jahresmittelwert). Der in der Belastungskarte dargestellte räumliche Maßstab ist 100 x 100 m². Zusätzlich zum LQI-Langzeitwert werden die Emissionsquellen aufgeführt, z. B. welche Anteile durch Holzverbrennung, Verkehrsemissionen, Industrie oder Schiffsverkehr verursacht wurden (Miljodirektoratet). Die Belastungskarte gibt Aufschluss darüber, wo sich die am stärksten verschmutzten Gebiete in der Gemeinde befinden und welche Quellen zur Verschmutzung beitragen, kann aber nicht zur Feststellung herangezogen werden, ob eine Gemeinde die Grenzwerte überschreitet.

Südkorea: Jährliche Trends der Luftqualität werden ab 1995 für die einzelnen Schadstoffe angegeben. Diese Daten werden für verschiedene Städte als Grafiken visualisiert und stehen als Excel-Tabellen zum Download bereit (AirKorea).

U.K.: Die britische Defra-Webseite bietet ein Datenarchiv an, das sowohl Messdaten, Statistiken (z. B. Jahresmittelwerte, Maximal- und Minimalwerte, Tagesmittelwerte, Monatsmittelwerte, Perzentilwerte) als auch Überschreitungsstatistiken (Informationen über Konzentrationen oberhalb des bestimmten Schwellenwertes) enthält (Department for Environment Food and Rural Affairs). Eine Auswahl verwendeter Schwellenwerte sind die Luftqualitätsziele des Vereinigten Königreichs, die Grenz- und Zielwerte der EU, der LQI sowie die Indikatoren für nachhaltige Entwicklung.

USA: Die U.S. EPA-Webseite bietet Dateien mit historischen und langfristigen Daten. Es stehen beispielsweise jährlich zusammengefasste Daten, täglich zusammengefasste Daten oder Rohdaten zur Verfügung. LQI-Langzeitwerte sind aufgeschlüsselt nach Messgeräten und auf Bezirksebene verfügbar (United States Environmental Protection Agency).

World AQI: Die LQI-Werte der letzten Jahre sind in verschiedenen Grafiken dargestellt. Der Tagesmittelwert des World AQI, der als Zahl von 0 bis 300+ dargestellt wird, bzw. die historischen Daten für jeden Schadstoff können in Form einer kalendarischen Belastungskarte sowie als Histogramm der Indexklassen auf der Webseite abgerufen werden.

2.2.5.4 Umgang mit fehlenden Daten

Es gibt verschiedene Szenarien, in denen Daten fehlen können:

- ▶ Station misst nicht alle Schadstoffe
- ▶ Messlücken aufgrund von Wartung oder Messgeräteausfällen
- ▶ Räumliche Datenlücken: Je nach räumlicher Darstellung des Index kann es vorkommen, dass für einige Punkte/Gebiete auf der Karte keine Daten vorliegen

Abhängig von der Konstruktion des Gesamtindex können fehlende Daten unterschiedliche Konsequenzen haben.

Im UBA LQI wird keine Fehlwertersetzung vorgenommen. Um den Index zu berechnen, muss mindestens einer der vier Schadstoffe gemessen werden. Fehlen an einer Station Messwerte für einen oder mehrere Schadstoffe, so wird dies visuell angezeigt indem ein Teil des farbigen Punktes, der eine Messstation symbolisiert, ausgegraut wird. Bei den Indizes Deutschland (BW), USA, Plume und World Air Quality Index werden ebenfalls keine Datenlücken gefüllt. In Usbekistan wird der Index nicht berechnet, wenn nicht alle erforderlichen Daten vorliegen. In der Schweiz werden in Abhängigkeit von der Art der Messstation und den gemessenen Werten bestimmte Fehlwerte für einen gültigen Gesamtindex akzeptiert; ansonsten kann kein gültiger Index berechnet werden. Abweichungen vom Messumfang der Schadstoffparameter sind dann zulässig, wenn der Nachweis erbracht wird, dass der/die fehlende(n) Parameter nicht als dominante(r) Schadstoff(e) auftreten. Beispielsweise kann in einer schlecht belüfteten Straßenschlucht ein LQI mit einer Messung von NO₂ und PM₁₀ und ohne O₃ ermittelt werden (König Minger et al. 2020). Für die Berechnung des britischen LQI sind Daten für mindestens 75 % des jeweiligen Zeitraums von 1 Stunde, 8 Stunden und 24 Stunden erforderlich (Connolly et al. 2013, S. 2). Für die Indizes Australien, Monaco, Norwegen, Südkorea, Schweiz, und Breezometer konnten keine Informationen über den Umgang mit fehlenden Daten gefunden werden.

In mehreren LQI werden Datenlücken durch unterschiedliche Modellierungen gefüllt. Der belgische LQI basiert auf ATMO-Straßenkarten (irCELine), die drei Modelle miteinander verbinden: die Interpolation von Luftqualitätsmessungen (RIO-Interpolationsmodell), die Berechnung der Luftqualität auf der Grundlage von meteorologischen Daten und Luftschadstoffemissionen (Bi-Gauß'sches Ausbreitungsmodell IFDM) und die Berechnung der Auswirkungen von Straßenschluchten oder „Street-Canyon“ (OSPM-Modell). Alle fehlenden Daten werden auf der Grundlage verfügbarer Messungen und meteorologischer Daten modelliert. Der tschechische LQI wird angezeigt, wenn zumindest für NO₂, O₃ und PM₁₀ stündliche Daten vorliegen (CHMI 2019). Er verwendet zusätzlich Modellierungen, welche auf Daten aus Emissionsverzeichnissen sowie meteorologischen Daten basieren. Es liegt keine Information vor, in welchem Ausmaß fehlende Daten durch modellierte Werte ersetzt werden, es wird jedoch angegeben, dass Stationen ohne O₃-Messgerät die modellierten O₃-Werte

zugeordnet werden. Der europäische Index wird für alle Messstationen mit Daten für mindestens einen Schadstoff berechnet. Fehlen in einer Messstation einzelne Schadstoffdaten, wird dies grafisch dargestellt. Wenn Messwerte fehlen, werden die Werte anhand der modellierten Luftqualitätsdaten des Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) angenähert. Der LQI-Wert ist dann mit einem Sternchen gekennzeichnet. Für SO₂ wird keine Lückenfüllung vorgenommen. In Fällen, in denen für drei der vier vorangegangenen Tage keine Messwerte für dieselbe Stunde vorliegen, wird ebenfalls keine Fehlwertersetzung vorgenommen. In Luxemburg werden fehlende Schadstoffkonzentrationen durch geostatistische Interpolation ermittelt, welche auf den Messungen zum Zeitpunkt der Datenlücke an den vorangegangenen vier Tagen basiert. Liegen für drei der vier vorangegangenen Tage keine Messwerte vor, wird der LQI-Wert für den betreffenden Schadstoff nicht berechnet. Wenn ein LQI von interpolierten Daten dominiert wird, wird angezeigt, dass die Unsicherheit der Daten höher ist. Außerdem sind die modellierten Daten kursiv und grau geschrieben, während die gemessenen Daten ohne besondere Schriftart und schwarz geschrieben werden. Zur Berechnung des französischen Index wird das ATMO-Modell verwendet, um fehlende Daten innerhalb eines bestimmten repräsentativen geographischen Gebiets zu ersetzen. Es gibt keinen visuellen Hinweis auf die fehlenden Daten. In Hongkong werden Datenlücken mit Messungen von vergleichbaren Stationen gefüllt und der resultierende AQHI wird mit einem Sternchen gekennzeichnet. Niederlande: Wenn eine Messstation einen bestimmten Schadstoff nicht misst oder Fehlwerte vorliegen, wird ein modellierter Ersatzwert eingegeben. Es gibt keine visuelle Anzeige der ersetzten Daten. Spanien: Zur Berechnung des Index müssen Daten für mindestens einen Schadstoff vorliegen. In Fällen, in denen für eine bestimmte Station für drei der vier vorangegangenen Tage keine Messwerte für dieselbe Tageszeit vorliegen, wird der Indexwert für den betreffenden Schadstoff nicht berechnet und als „keine Daten“ gemeldet. Für einzelne Stunden ohne Daten verwendet der Index modellierte CAMS-Daten. Für SO₂ werden keine modellierten Daten verwendet. Es gibt keine visuelle Anzeige der ersetzten Daten. Global (Airly) und USA: Fehlende Daten werden zwischen Messstationen räumlich interpoliert, es wurden jedoch keine genaueren technischen Details gefunden.

Tabelle 19 präsentiert Informationen darüber, wie mit fehlenden Daten umgegangen wird. Die Tabelle spezifiziert in der dritten Spalte, ob für die Berechnung des Index Daten zu allen Schadstoffen erforderlich sind. In der vierten Spalte wird dargelegt, wie mit fehlenden Schadstoffmessungen umgegangen wird. Dabei stehen zwei Optionen zur Verfügung: entweder wird der fehlende Wert durch einen modellierten Wert ersetzt oder er wird nicht berücksichtigt. In der fünften Spalte wird beschrieben, wie mit fehlenden Einzelmessungen eines Schadstoffs aufgrund von Messfehlern umgegangen wird. In der sechsten Spalte finden sich die Informationen zur räumlichen Extrapolation auf Gebiete außerhalb der Messstationen. Wenn fehlende Daten durch Interpolation oder Modellierungsdaten ersetzt werden, sind sie in der Tabelle mit „gefüllt“ gekennzeichnet.

Tabelle 19: Erforderliche Daten und Datenumgang

ID	Land/ Region	Sind für die Indexbe- rechnung alle Schad- stoffe erforder- lich?	Umgang mit fehlenden Schad- stoffen im Messpro- gramm der Station	Umgang mit Fehlwerten	Umgang mit fehlenden räumlichen Daten	Weitere Anmerkungen
-	Deutsch- land	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Hinweis auf fehlende Messwerte durch unvollständiges Kreissymbol
1	Aus- tralien (NSW)	Nein	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
2	Belgien	Nein	Gefüllt	Gefüllt	Gefüllt	Es werden verschiedene Modelle wie RIO, ein Interpolationsmodell, IFDM- Dispersionsmodell, OSPMfashion-Modell verwendet (eine Beschreibung findet sich auf der irCELine-Webseite www.irceline.be/nl/documentatie/modellen/atmo-street und in Hooyberghs et al. (2022).
3	Kanada	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefüllt	Nicht gefunden	
4	Tsche- chische Republik	Nein	Gefüllt	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Der LQI wird angezeigt, wenn stündliche Daten zumindest für NO ₂ , O ₃ und PM ₁₀ verfügbar sind, sofern diese standardmäßig an dem Ort gemessen werden. Hauptsächlich wird das CAMx Eulerian Chemical Dispersion Model verwendet, ergänzt durch das SYMOS Gaussian Model und das European EMEP Eulerian Model (eine Beschreibung findet sich im Bericht von Vlasáková und Škáchová H. (2022)

ID	Land/ Region	Sind für die Indexbe- rechnung alle Schad- stoffe erforder- lich?	Umgang mit fehlenden Schad- stoffen im Messpro- gramm der Station	Umgang mit Fehlwerten	Umgang mit fehlenden räumlichen Daten	Weitere Anmerkungen
5	Europäi- scher AQI	Nein	Nicht gefüllt	Gefüllt	Nicht gefüllt	Der LQI wird für alle Messstationen mit Daten für mindestens einen Schadstoff berechnet. Der LQI wird bei Bedarf durch modellierte Luftqualitätsdaten des CAMS der Europäischen Union ergänzt. Je nach fehlendem Schadstoff werden die CAMS-Daten durch eine Differenzmethode oder eine multiplikative Methode korrigiert.
6	Frank- reich	Nein	Nicht gefunden	Gefüllt	Gefüllt	Wenn es in einer Gemeinde keine Messstelle gibt, sind mehrere Methoden möglich, darunter: Verwendung des Wertes der nächstgelegenen Messstelle; Over-Sampling des Netzes in kleinere Maschen ohne Interpolation, wobei jede neue Masche den Wert der Ausgangsmasche übernimmt. Wenn Daten für die Modellberechnung fehlen, können Bodenmessungen verwendet werden, sofern diese als repräsentativ angesehen werden (weitere Informationen finden Sie im Bericht von Mongredien et al. (2020).
7	Deutsch- land (BW)	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	PM ₁₀ wird nicht berücksichtigt, wenn PM _{2.5} als indexbestimmend angegeben wurde.
8	Deutsch- land (Berlin)	Nein	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	

ID	Land/ Region	Sind für die Indexbe- rechnung alle Schad- stoffe erforder- lich?	Umgang mit fehlenden Schad- stoffen im Messpro- gramm der Station	Umgang mit Fehlwerten	Umgang mit fehlenden räumlichen Daten	Weitere Anmerkungen
9	Hong- kong	Nein	Gefüllt	Gefüllt	Nein	Falls Geräte oder Stationen außer Betrieb genommen werden, werden die Daten ähnlicher Stationen übernommen. Ein solcher Wert wird mit einem Sternchen gekennzeichnet.
10	Irland	Nein	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
11	Luxem- burg	Ja	Gefüllt	Gefüllt	Gefüllt	Wenn an einer Station nicht alle Schadstoffe gemessen werden, werden die fehlenden Schadstoffe durch geostatistische Interpolation ermittelt.
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
13	Nieder- lande	Ja	Gefüllt	Gefüllt	Gefüllt	Die modellierten Werte sind für ein Raster von vier mal vier Kilometern für die tatsächlichen Werte und von sieben mal sieben Kilometern für die vorhergesagten Werte verfügbar. Weitere Informationen finden sich im RIVM-Bericht von Dusseldorp et al. (2014).
14	Norwe- gen	Nein	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
15	Südkorea	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	

ID	Land/ Region	Sind für die Indexbe- rechnung alle Schad- stoffe erforder- lich?	Umgang mit fehlenden Schad- stoffen im Messpro- gramm der Station	Umgang mit Fehlwerten	Umgang mit fehlenden räumlichen Daten	Weitere Anmerkungen
16	Spanien	Nein	Nicht gefüllt	Gefüllt	Nicht gefüllt	Es werden mindestens Daten für einen Schadstoff benötigt. Liegen für eine bestimmte Station für drei der vier vorangegangenen Tage keine Messwerte für dieselbe Zeit vor, wird der Indexwert für den betreffenden Schadstoff nicht berechnet und als „keine Daten“ angegeben. Liegen Daten für die vorangegangenen Tage vor, werden Approximationsmethoden (Differenz und multiplikativ) verwendet.
17	Schweiz und Liechten- stein	Ja (mit Aus- nahmen)	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Abweichungen vom Messumfang der Schadstoffparameter sind nur zulässig, wenn der Nachweis erbracht wird, dass der/die fehlende(n) Parameter nicht als dominante(r) Schadstoff(e) auftreten. So kann z. B. in einem schlecht belüfteten „Street Canyon“ (Straßenschlucht) ein LQI mit einer Messung von NO ₂ und PM ₁₀ ermittelt werden, wenn der Ozongehalt keine dominante Rolle spielt.
18	U.K.	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
19	USA	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Es werden mindestens Daten für einen Schadstoff benötigt. Die Werte des Luftqualitätsindex in den Gebieten zwischen den Messstationen werden mit der Methode der räumlichen Interpolation geschätzt.

ID	Land/ Region	Sind für die Indexbe- rechnung alle Schad- stoffe erforder- lich?	Umgang mit fehlenden Schad- stoffen im Messpro- gramm der Station	Umgang mit Fehlwerten	Umgang mit fehlenden räumlichen Daten	Weitere Anmerkungen
20	Usbekis- tan	Ja	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	
21	Breezo- meter AQI	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
22	Plume AQI	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefunden	Nicht gefunden	
23	World AQI	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	Nicht gefüllt	
24	Airly AQI	Nein	Nicht gefüllt	Nicht gefunden	Gefüllt	Es werden KI-Algorithmen verwendet zur Interpolation zwischen Messstationen.

2.2.6 Kommunikation und Nutzung

2.2.6.1 Kommunikationswege

In Tabelle 20 sind die Kommunikationswege für die LQI zusätzlich zur Webseite sowie die Nutzerdaten und die Aktualisierungshäufigkeit der LQI dargestellt. Viele LQI sind auch als Apps verfügbar. Am häufigsten ist eine stündliche Aktualisierungsfrequenz des LQI auf der Webseite oder App, sodass der LQI-Wert der letzten vollen Stunde angezeigt wird.

Von den Ländern oder Agenturen wurden nur wenige Informationen über Nutzerdaten zur Verfügung gestellt. Allerdings sind die Nutzerzahlen der Apps häufig verfügbar.

Tabelle 20: Kommunikationswege, Nutzerdaten und Aktualisierungshäufigkeit der Webseiten und Apps

ID	Land/ Region	Kommunikationswege zusätzlich zur Webseite	Nutzerdaten	Häufigkeit der Aktualisierung des LQI auf der Webseite / App
-	Deutschland	App	Über 50000 Downloads im Google Playstore und über 100000 Downloads im Apple Store (27.06.23)	Stündlich
1	Australien (NSW)	SMS und E-Mail Updates	Nicht gefunden	Nicht gefunden

ID	Land/ Region	Kommunikationswege zusätzlich zur Webseite	Nutzerdaten	Häufigkeit der Aktualisierung des LQI auf der Webseite / App
2	Belgien	App, E-Mail und Twitter	Über 10000 Downloads im Google Playstore (13.08.23)	Nicht gefunden
3	Kanada	App „WeatherCAN“ mit individuellen AQH Benachrichtigungen, mehrere Wetter-Webseiten	Nicht gefunden	Nicht gefunden
4	Tschechische Republik	App mit Warnhinweisen des CHMI	Nicht gefunden	Stündlich
5	Europäischer AQI	App „European Air Quality Index“	Über 5000 Downloads im Google Playstore (20.07.23)	Stündlich
6	Frankreich	App, E-mail Updates	Nicht gefunden	Täglich
7	Deutschland (BW)	Nicht gefunden	Nutzerzahlen werden nicht gemessen	Stündlich
8	Deutschland (Berlin)	App „Berlin Luft“	Über 100 Downloads im Google Playstore (20.07.23)	Stündlich
9	Hongkong	App „HK AQHI“ für den Gesundheitsindex der Luftqualität, Hotline, Medien (Nachrichten- und Medien- informationssystem der Regierung)	Über 10000 Downloads im Google Playstore (08.07.23)	Stündlich, JLQI monatlich
10	Irland	Twitter Updates, YouTube (allgemeine Informationen zur Luftqualität)	Nicht gefunden	Alle 15 Minuten (jedoch nicht für alle Schadstoffe und nicht für alle Messstationen)
11	Luxemburg	App „Meng Loft“, Ozon-Peaks: Warnung per SMS und E-Mail	Über 5000 Downloads im Google Playstore (24.06.23)	Stündlich
12	Monaco, Region Côte d'Azur	App „SignalAir“, E-mail Updates, YouTube- Channel	Über 1000 Downloads im Google Playstore (22.06.23)	ATMO-Index: täglich ICAIrh: kontinuierlich
13	Niederlande	Twitter, Facebook	Nicht gefunden	Stündlich
14	Norwegen	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Stündlich
15	Südkorea	SMS, Kakaotok (Sofortnachrichten-App), Suchmaschine „naver.com“	Nicht gefunden	Stündlich
16	Spanien	Nicht gefunden	Nicht gefunden	Stündlich

ID	Land/ Region	Kommunikationswege zusätzlich zur Webseite	Nutzerdaten	Häufigkeit der Aktualisierung des LQI auf der Webseite / App
17	Schweiz und Liechten- stein	App „AirCheck“	Über 10000 Downloads im Google Playstore (23.06.23)	Stündlich
18	U.K.	Webseiten für verschiedene Regionen, z. B. www.scottishairquality.scot	Nicht gefunden	Stündlich
19	USA	App, Twitter, Facebook, Webseiten staatlicher und lokaler Behörden, lokale Nachrichtenmedien, Telefonhotlines, E-Mail- Warnungen	Über 100000 Downloads im Google Playstore (11.07.23)	NowCast: Stündlich LQI: Täglich
20	Usbekistan	App „AirUz“	Über 100 Downloads im Google Playstore (11.07.23)	Nicht gefunden
21	Breezometer AQI	App (nur bis September 2023 verfügbar), die weltweit auf Apple- und Android-Geräten genutzt wird	Über 500000 Downloads im Google Playstore (13.08.23)	Stündlich
22	Plume AQI	App „Plume“	Über 10000 Downloads im Google Playstore (27.06.23)	Kontinuierlich
23	World AQI	App, Windows Widget	Nicht gefunden	Kontinuierlich
24	Airly AQI	App, Webplattform, Android- und iOS-Apps, Widgets für andere Webseiten	Über 500000 Downloads im Google Playstore (13.08.23)	Zwischen 3 Minuten und 1-1.5 h

2.2.6.2 Präsentation und Vermittlung

Tabelle 21 enthält Informationen über die Darstellung und Kommunikation der LQI. Am häufigsten werden sechs und zehn Bewertungsklassen verwendet (in zehn bzw. fünf der 24 ausgewählten LQI). Die genauen Klassengrenzen werden oft pragmatisch festgelegt und orientieren sich an jährlichen, täglichen und stündlichen Grenz- oder Richtwerten. Es wurden keine Einzelheiten darüber gefunden, wie die Gesundheitsempfehlungen für die verschiedenen Klassen abgeleitet wurden, insbesondere wie gesetzliche Grenzwerte in den Empfehlungen berücksichtigt werden.

Alle LQI verwenden Farbschemata, die meisten bedienen sich zur Luftqualitätsangabe numerischer Skalen. Üblicherweise werden niedrige Zahlen für einen niedrigen Verschmutzungsgrad und hohe Zahlen für einen hohen Verschmutzungsgrad verwendet. Die meisten LQI werden auf einer Karte des Landes oder der Region dargestellt. Oft werden die Messstellen als farbige Punkte bzw. Kreise gezeigt, wobei ein Farbschema verwendet wird, um

den Grad der Luftqualität anzugeben. Die Darstellung von farbigen Flächen auf der Grundlage von Modellierungen oder Interpolationen ist weniger üblich.

Tabelle 21: Allgemeine Präsentation und Vermittlung der LQI

ID	Land/ Region	Anzahl der Kategorien	Deskriptoren	Anzeige des LQI auf der Karte
-	Deutschland	5	Sehr gut Gut Mäßig Schlecht Sehr schlecht	Messstandorte sowie Kartendarstellung der Einzelschadstoffe
1	Australien (NSW)	5	Good Fair Poor Very poor Extremely poor	Messstandorte
2	Belgien	10	Excellent Very good Good Fairly good Moderate Poor Very poor Bad Very bad Horrible	Messstandorte und modelliertes / kartiertes Gebiet
3	Kanada	11 Klassen, 4 für Gesundheits- informationen	Low risk Moderate risk High risk Very high risk	Keine Karte verwendet
4	Tschechische Republik	3 (untergeordnete Ebenen mit a und b)	Sehr gut bis gut (Velmi dobrá až dobrá) Akzeptabel (Příjemná) Schlecht bis sehr schlecht (Zhoršená až špatná)	Messstandorte und modelliertes Gebiet
5	Europäischer AQI	6	Good Fair Moderate Poor Very poor Extremely poor	Messstandorte
6	Frankreich	6	Bon Moyen Dégradé Mauvais Très mauvais	Messstandorte und modelliertes / kartiertes Gebiet

ID	Land/ Region	Anzahl der Kategorien	Deskriptoren	Anzeige des LQI auf der Karte
			Extrêmement mauvais	
7	Deutschland (BW)	6	Sehr gut Gut Befriedigend Ausreichend Schlecht Sehr schlecht	Messstandorte
8	Deutschland (Berlin)	6	Sehr gut Gut Befriedigend Ausreichend Schlecht Sehr schlecht	Messstandorte
9	Hongkong	11 Klassen, 5 für Gesundheits- informationen	Low Moderate High Very high Serious	Messstandorte
10	Irland	10 Klassen, 4 für Gesundheits- informationen	Good Fair Poor Very poor	Messstandorte
11	Luxemburg	10	Excellent Très bon Bon Assez bon Moyen Médiocre Très médiocre Mauvais Très mauvais Exécrable	Messstandorte
12	Monaco, Region Côte d'Azur	10 Klassen, 7 für Gesundheits- informationen	Bon Moyen Dégradé Mauvais Très mauvais Extrêmement mauvais Événement	Messstandorte und modelliertes / kartiertes Gebiet (mit Animation des LQI- Wertes im Zeitverlauf)
13	Niederlande	11 Klassen, 5 für Gesundheits- informationen	Gut (goed) Mäßig (matig) Insuffizient (onvoldoende) Schlecht (slecht) Sehr schlecht (zeer slecht)	Messstandorte

ID	Land/ Region	Anzahl der Kategorien	Deskriptoren	Anzeige des LQI auf der Karte
14	Norwegen	4	Wenig (Lite) Moderat (Moderat) Hoch (Høy) Sehr hoch (Svært høy)	Messstandorte (und die Prognose als modelliertes / kartiertes Gebiet)
15	Südkorea	4	Good Moderate Unhealthy Very unhealthy	Messstandorte und kartiertes Gebiet
16	Spanien	6	Buena Razonablemente buena Regular Desfavorable Muy desfavorable Extremadamente desfavorable	Messstandorte und modelliertes/kartiertes Gebiet
17	Schweiz und Liechtenstein	17 Klassen, 6 für Gesundheits- informationen	Gering Mäßig Deutlich Erheblich Hoch Sehr hoch	Messstandorte und modelliertes/kartiertes Gebiet
18	U.K.	10 Klassen, 4 für Gesundheits- informationen	Low Moderate High Very high	Messstandorte
19	USA	6	Good Moderate Unhealthy for sensitive groups Unhealthy very unhealthy Hazardous	Messstandorte und modelliertes/kartiertes Gebiet
20	Usbekistan	4	Low Increased High Very high	Messstandorte
21	Breezometer AQI	6 Klassen, 5 für Gesundheits- informationen	Excellent Good Moderate Low Poor	Messstandorte und modelliertes/kartiertes Gebiet
22	Plume AQI	6	Excellent Fair Poor Unhealthy	Modelliertes/kartiertes Gebiet

ID	Land/ Region	Anzahl der Kategorien	Deskriptoren	Anzeige des LQI auf der Karte
23	World AQI	6	Very unhealthy Dangerous Good Moderate Unhealthy for sensitive groups Unhealthy very unhealthy Hazardous	Messstandorte
24	Airly AQI	6 Klassen, 10 Farben	Very low Medium High Extreme Airmageddon!	Farbige Belastungskarte ³ Messungsstandorte

Eine Besonderheit in der Kommunikation findet sich beim Plume AQI. Um den Bürgerinnen und Bürgern die Interpretation der Indexwerte zu erleichtern, entspricht jeder Indexwert einem Zeitraum, für den eine bestimmte Exposition als unbedenklich angesehen werden kann (Tabelle 22). So entspricht z. B. ein Indexwert von PAQI<20 einer gesundheitlich unbedenklichen Luftqualität für die Dauer eines Jahres, PAQI<50 einer gesundheitlich unbedenklichen Luftqualität für einen Tag und PAQI<100 für eine Stunde. Über diese Werte hinaus gibt es weiterhin einige Empfehlungen, welche sich auf kürzere Zeiträume beziehen, etwa eine Spanne von einigen Minuten (was einem PAQI<150 entsprechen würde). Der letzte Klassengrenzwert (PAQI<250) entspricht möglichen sofortigen Auswirkungen.

Tabelle 22: PAQI-Werte und die entsprechende Zeit für eine ungefährliche Exposition (Plume Labs by AccuWeather)

PAQI Level	Unbedenkliche Belastung
0-20	> 1 Jahr
20-50	< 1 Jahr
50-100	< 1 Tag
100-150	< 1 Stunde
150-250	< ein paar Minuten
>250	< 1 Minute

2.2.6.3 Visuelle Darstellung der LQI

Die meisten LQI sind in Bewertungsklassen unterteilt, denen eine numerische Skala, ein Farbschema und häufig auch Gesundheitsempfehlungen zugeordnet sind. Die Anzahl der Klassen und die verwendete numerische Skala sind dabei sehr unterschiedlich. Die visuelle Darstellung

³ Airly AQI: Die Farbintensität der Belastungskarten (die den Bereich um jeden Sensor herum darstellen) zeigt die Zuverlässigkeit der Schätzung der Messungen an einem bestimmten Ort an.

erfolgt meist mittels einer Punkt- bzw. kreisförmigen Darstellung an den Orten der Messstationen auf einer Karte und bzw. oder durch eine farbige Darstellung auf der gesamten Fläche.

Für die Darstellung der Bewertungsklassen nutzen alle Indizes fest definierte Farbschemata. Üblich sind Farbschemata, die auf dem Ampelfarbsystem basieren. Auch der UBA LQI bedient sich dieser Farbskala: es werden zwei Grüntöne, Gelb und zwei Rottöne für die Indexklassen sowie Grau für fehlende Daten verwendet. In einigen Indizes wird statt Grün Blau genutzt, um sehr gute und gute Luftqualität zu kennzeichnen (z. B. Deutschland (BW), Luxemburg, Südkorea). Anstelle von Rot kommen in einigen Indizes außerdem Violett, Braun oder Schwarz für schlechte und sehr schlechte Werte zum Einsatz (z. B. Australien, Europa, Frankreich, Irland, Luxemburg, USA, World AQI, Hongkong).

Viele LQI beinhalten mehrere Möglichkeiten für die Nutzenden, auf die Informationen zuzugreifen. Es besteht die Möglichkeit, sich Angaben zu bestimmten Orten anzeigen zu lassen (z. B. vom Nutzenden selbst festgelegte Orte), oder sich auf einer Karte eine Übersicht über vorhandene Messstationen anzeigen zu lassen. Die eigentlichen LQI-Werte werden häufig auf Karten präsentiert. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Darstellung von punktförmigen Informationen, die in der Regel den Messstationen entsprechen und für die ein LQI-Wert berechnet und dargestellt wird, und einer flächendeckenden Darstellung z. B. durch Belastungskarten. Die punktförmigen Informationen auf der Karte können unterschiedlich gestaltet sein, von einfachen Kreisen in der Farbe des Gesamtindex bis hin zu komplexen Darstellungen. Im Folgenden werden einige Beispiele ausgeführt.

Europa: Die Darstellung auf der Karte ist sehr einfach gehalten mit Kreisen an den Orten der Messstationen, die in der Farbe des Gesamtindex eingefärbt sind. Graue Kreise kennzeichnen Stationen, für welche Daten fehlen. Eine interaktive Karte findet sich [hier](#).

Für den **UBA LQI** wird auf einer Karte jede Messstation als Kreis dargestellt, wobei die Farbe je nach Kartendarstellung entweder den kombinierten LQI oder die Bewertungsklasse eines einzelnen Schadstoffs (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} oder O₃) angibt. Wenn Konzentrationswerte für weniger als vier Schadstoffe vorliegen, wird dies bei der Darstellung des kombinierten LQI mit einem grauen Kreissegment markiert.

Der **französische LQI** wird auf der Titelseite der Webseite [Atmo France](#) für eine Auswahl größerer Städte vorgestellt, wobei die Indizes der Städte durch farbige Punkte dargestellt sind. Es besteht die Möglichkeit, eine Region auszuwählen, wodurch die Ansicht vergrößert und die genauen Standorte der Messstationen im Stadtplan sichtbar werden.

Andere Arten der Visualisierung sind ähnlich wie ein Tachometer gestaltet. So werden beispielsweise die LQI-Werte von **Luxemburg** (App „[Meng Loft](#)“) und den **USA** mit einem Zeiger und halbkreisförmigen Bewertungsklassen, die farblich differenziert sind (von links nach rechts in aufsteigender Abfolge), dargestellt. Der Zeiger markiert die aktuelle Höhe des LQI-Wertes, zusätzlich werden darunter der LQI-Wert und das Datum angezeigt.

Der **LQI von Australien (NSW)** wiederum ist in Tabellenform dargestellt, welche die Luftqualität numerisch und farbkodiert zusammenfasst ([Webseite](#) des NSW Government). Die Luftqualität wird für verschiedene Orte innerhalb der Städte angegeben, ebenso wie die Konzentration der einzelnen Luftschadstoffe.

Der **südkoreanische LQI** enthält eine numerische Skala, ein Farbschema mit vier Bewertungsklassen, Piktogramme, und grafische Darstellungen auf Karten mit punktförmigen und flächigen Informationen. Cartoon-Figuren in den jeweiligen Farben der dazugehörigen Klasse visualisieren die Luftqualität mit verschiedenen Gesichtsausdrücken. Wenn die

Luftqualität beispielsweise gut ist, lacht eine kleine Figur, und wenn die Luftqualität schlecht ist, tragen die Figuren Gesichtsmasken und der Gesichtsausdruck ändert sich.

Belgien, Monaco, Norwegen, Schweiz, Südkorea, USA, Plume und Breezometer zeigen die aktuellen Indizes im Rahmen von Apps als eingefärbte flächendeckende Karten an, wobei einige Darstellungen nur größere Areale in einer Farbe zeigen und andere fein aufgelöste Belastungskarten präsentieren. Der USA-Index verwendet Konturlinien als Visualisierungstechnik und räumliche Interpolationen, die große Gebiete auf einer Karte abdecken. Im südkoreanischen Index werden Verwaltungsregionen auf einer Karte eingefärbt, um den aktuellen Indexwert in diesen Regionen darzustellen, der anhand der Mittelwerte aller Messstationen in dem Gebiet berechnet wird. In Norwegen werden seit 2016 LQI-Langzeitwerte für die einzelnen Schadstoffe mit hoher räumlicher Auflösung (100 x 100 m²) auf Karten dargestellt. Zusätzlich werden die Emissionsquellen aufgeführt, z. B. welche Anteile durch Holzverbrennung, Verkehrsemissionen, Industrie oder Schiffsverkehr verursacht wurden (Miljodirektoratet).

Beim Airly AQI wird nur die numerische Skala zusammen mit einem Farbschema (grün steht für gute Luftqualität) in der App angezeigt. Ein kurzer Hinweis fasst die Luftqualität zusammen und gibt Handlungsempfehlungen.

2.2.7 Gesundheitsempfehlungen

Aussagen zu gesundheitlichen Risiken und Empfehlungen zum gesundheitsbewussten Verhalten bei Luftverschmutzung zur Prävention von zusätzlichen Erkrankungs- oder Todesfällen sind ein wichtiger Bestandteil vieler LQI. Bei der Selektion von LQI wurden gezielt LQI eingeschlossen, die solche Gesundheitsempfehlungen bereitstellen. Unterteilt werden die Aussagen und Empfehlungen in die Zielgruppe (Allgemeinbevölkerung, vulnerable Gruppen), in den Zeitraum, auf den sich die Aussage bezieht (Stunde, Tag, langfristige Zeiträume) und in Inhalte (Risiken, Verhaltensweisen). Von den 24 ausgewählten LQI enthalten 21 LQI Gesundheitsempfehlungen in Abhängigkeit vom Grad der Luftverschmutzung (Tabelle 23). Deutschland (BW) und Deutschland (Berlin) enthalten keine Empfehlungen. Der belgische LQI enthält ebenfalls keine Empfehlung für den aktuellen LQI-Wert, gibt aber in der App kurze Hinweise für die Langzeitbelastung.

Die Gesundheitsempfehlungen unterscheiden sich stark im Umfang der Texte. Der Umfang reicht von sehr kurzen Empfehlungen mit ein bis zwei Sätzen (z. B. Niederlande, Schweiz, USA) bis hin zu längeren und stark differenzierten Texten (Tabelle 47). Wenn Gesundheitsempfehlungen gegeben werden, werden in der Regel getrennte Empfehlungen für die allgemeine Öffentlichkeit und für vulnerable Gruppen erteilt (Tabelle 23), wobei die Benennung dieser vulnerablen Gruppen von „empfindlichen Personen“ bis hin zu einer Aufzählung von spezifischen Krankheiten und Eigenschaften reicht. Als vulnerable Gruppen werden Kinder, ältere Menschen, Menschen mit chronischen Krankheiten wie Asthma, Diabetes oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Schwangere genannt.

Die gesundheitlichen Empfehlungen beziehen sich überwiegend auf die aktuelle Luftqualität. Nur in wenigen Fällen wird auf die Bedeutung einer langfristigen Belastung auf dem gegebenen Level eingegangen, wobei diese Aussagen keine spezifischen Empfehlungen zu gesundheitlichen Verhaltensweisen enthalten, sondern nur auf das erhöhte Risiko hinweisen (UBA LQI, Belgien, Hongkong, Plume).

Der Inhalt der Gesundheitsempfehlungen besteht überwiegend aus Empfehlungen zur körperlichen Aktivität im Freien, wobei in aller Regel je nach Luftqualität unterschiedlich starke

Einschränkungen bzw. Verlagerungen der körperlichen Aktivität in andere Zeiten oder an andere Orte empfohlen werden.

Die meisten LQI enthalten übergreifende Gesundheitsempfehlungen anstatt schadstoffspezifischer Empfehlungen. Von den ausgewählten LQI liefern allein Norwegen, Südkorea und Spanien schadstoffspezifische Informationen oder Empfehlungen. Zusätzlich finden sich bei einigen LQI Angaben zur Kontaktierung medizinischen Personals (Australien), zum emissionsarmen Verhalten (Frankreich, Luxemburg, Monaco, Schweiz), Hinweise für Arbeitgebende, Hinweise zum Lüften (Monaco) oder zu den mit der jeweiligen Luftqualität verbundenen Risiken (Schweiz). Die Gesundheitsempfehlungen im Wortlaut finden sich im Anhang (Tabelle 47).

Tabelle 23: Inhalt der Gesundheitsempfehlungen

ID	Land/ Region	Empfehlungen für die Allgemeinheit	Empfehlungen für vulnerable Gruppen	Beachtung von Symptomen	Aktivitäten einschränken	Aktivitäten vermeiden	Schadstoff spezifische Empfehlungen	Weiteres ¹
-	Deutschland (UBA)	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
1	Australien (NSW)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
2	Belgien	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
3	Kanada	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
4	Tschechische Republik	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
5	Europäischer AQI	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
6	Frankreich	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
7	Deutschland (BW)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
8	Deutschland (Berlin)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
9	Hongkong	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
10	Irland	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
11	Luxemburg	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
13	Niederlande	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein

ID	Land/ Region	Empfeh- lungen für die Allge- meinheit	Empfeh- lungen für vulner- able Gruppen	Beach- tung von Symp- tomen	Aktivi- täten ein- schränk- en	Aktivi- täten ver- meiden	Schadstoff spezifische Empfeh- lungen	Weiteres ¹
14	Norwegen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
15	Südkorea	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein
16	Spanien	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
17	Schweiz, Liechten- stein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja
18	U.K.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
19	USA	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
20	Usbekistan	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
21	Global (Breezo- meter AQI)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
22	Global (Plume AQI)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
23	Global (World AQI)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
24	Global (Airly AQI)	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein

¹ Zusätzliche Empfehlungen zu langfristig erhöhten Schadstoffkonzentrationen, umweltfreundlichem Verhalten oder Hinweise für Arbeitgebende.

2.3 Zusammenfassung und Diskussion der Literaturrecherche

Mit der Literaturrecherche wurde eine Basis für die Weiterentwicklung des UBA LQI gelegt. Ziel war es, möglichst unterschiedliche Methoden der LQI-Konstruktion und -Kommunikation zu erfassen und daraus Empfehlungen für die Weiterentwicklung des UBA LQI zu generieren. Es wurden insgesamt 75 LQI bei der Recherche identifiziert.

Für die weitere Auswertung wurden insgesamt 24 verschiedene LQI ausgewählt und gemeinsam mit dem UBA LQI bezüglich ihrer Eigenschaften untersucht. Es zeigte sich eine große Vielfalt an Methoden und Darstellungsweisen, wobei sich zwei große Gruppen an LQI herausbildeten. Eine Gruppe von LQI erstellt Einzelbewertungen für die enthaltenen Schadstoffe und weist dem Gesamt-LQI den höchsten Einzelwert zu. Eine andere Gruppe von LQI addiert Einzelbewertungen auf. Es finden sich unterschiedliche Skalierungen und unterschiedliche Zahlen von Bewertungsklassen, die in aller Regel für die gesundheitlichen Empfehlungen auf vier bis sechs Kategorien zusammengefasst werden. Die meisten LQI stellen die Ergebnisse grafisch in Form von farbigen Kreisen, Piktogrammen, Tachometern o. ä. dar. Viele Indizes sind, basierend auf der Lage der jeweiligen Messstation vor einem Kartenhintergrund räumlich differenziert dargestellt. Andere LQI stellen die Daten flächig interpoliert in Form von

Belastungskarten dar. Die folgenden Punkte haben sich als zentral für die Weiterentwicklung des UBA LQI herausgestellt:

Anzahl der Bewertungsklassen: Die durch die Literaturrecherche identifizierten und ausgewählten LQI haben zwischen fünf und 17 Bewertungsklassen, wobei bei einigen LQI diese Klassen für die Gesundheitsempfehlungen wieder zu größeren Kategorien zusammengefasst werden. Hier besteht die Frage, welche Anzahl von Klassen sinnvoll für die Anpassung des individuellen Verhaltens und damit für die Prävention von luftverschmutzungsbedingten Krankheitsfällen in Deutschland ist. Eine niedrige Anzahl von Klassen vereinfacht die Kommunikation, allerdings geht hierdurch die Differenzierung von Empfehlungen für gesunde und vulnerable Bevölkerungsgruppen zunehmend verloren. Eine höhere Anzahl von Bewertungsklassen erlaubt eine bessere Differenzierung, wird aber zunehmend komplizierter in der Kommunikation. Das Hinzufügen einer sechsten Klasse würde den UBA LQI an den europäischen AQI angleichen. Sechs Klassen mit Deskriptoren, die den Schulnoten Eins bis Sechs in Deutschland entsprechen, könnten in Deutschland das intuitive Verständnis erhöhen.

Mittelungszeiten: Häufig verwendete Mittelungszeiten für Schadstoffkonzentrationen sind eine Stunde für NO₂ und SO₂, eine Stunde oder acht Stunden für Ozon und eine Stunde oder 24 Stunden für PM_{2,5} und PM₁₀. Seltener werden Mittelungen über drei Stunden, vier Stunden oder Mittelungszeiten unter einer Stunde verwendet. Längere Mittelungszeiten gelten als belastbarer, da kurzfristige Ausreißer weniger stark ins Gewicht fallen (Dusseldorp et al. 2014). Der Nachteil z. B. eines 24h-Mittelwerts besteht jedoch darin, dass eine Zunahme der aktuellen Luftschadstoffkonzentrationen im LQI erst verzögert sichtbar wird. So kann es einige Stunden dauern, bis der LQI auf akute Ereignisse reagiert und diese Ereignisse können einen ungewollten langen Nachlauf haben, obwohl die aktuelle Luftqualität bereits wieder besser ist. Somit kann ein LQI, der auf gleitenden Mittelwerten, wie z. B. 24 Stunden, beruht, sein primäres Ziel, die Bevölkerung zu warnen und eine präventive Verhaltensänderung zu bewirken, nicht optimal erfüllen (Dusseldorp et al. 2014). Aus diesem Grund bietet die US-EPA beispielsweise einen „NowCast“ an, um neben dem auf einer Mittelungszeit von 24 Stunden basierenden LQI auch die stündlichen LQI-Werte für die letzten 24 Stunden anzuzeigen (United States Environmental Protection Agency 2018). Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung von gleitenden 3h-Mittelwerten, wie zum Beispiel beim kanadischen LQI. Als Begründung für die längere Mittelungszeit wird angeführt, dass der 3h-Mittelwert nicht so stark von kurzfristigen Ausreißern beeinflusst wird wie ein 1h-Mittelwert (Stieb et al. 2008).

Mehrfachbelastungen: Im Alltag sind Menschen einer Mischung von Luftschadstoffen und nicht nur einem einzelnen Schadstoff ausgesetzt. Nichtsdestotrotz besteht der gängige Ansatz darin, die einzelnen Schadstoffe unabhängig voneinander zu bewerten und den schlechtesten Schadstoffwert als Gesamt-LQI-Wert anzugeben. Dieser Ansatz wird im UBA LQI sowie in 18 der 24 hier näher betrachteten LQI verwendet, obwohl Mehrfachbelastungen so nicht berücksichtigt werden. Synergistische bzw. überadditive Gesundheitseffekte werden bei sechs der 24 LQI berücksichtigt. Diese sechs LQI benutzen drei verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung kombinierter Wirkungen:

- ▶ Summierung der Gesundheitsrisiken (Kanada, Hongkong, USA)
- ▶ Erhöhung des Gesamtindex, wenn mehrere Schadstoffe in derselben Klasse liegen (Niederlande, Südkorea)
- ▶ Erhöhung von Klassengrenzen bei Mehrfachbelastungen (Baden-Württemberg))

Ein Argument gegen den Ansatz, dass allein der schlechteste Index den Gesamtindex bestimmt, ist eine mögliche Unterschätzung des Gesundheitsrisikos (Kumar 2022; Cao et al. 2021). Bei

einigen Indizes wird dagegen angeführt, dass die Ermittlung auf Basis einzelner Schadstoffe gerechtfertigt ist, da es an epidemiologischen Studien über kombinierte Gesundheitseffekte mangelt (Dusseldorp et al. 2014). So kann z. B. eine Aufsummierung der Einzel-LQI zu einem Gesamtindex möglicherweise das reale Gesundheitsrisiko überschätzen.

Der von den Niederlanden und Südkorea verwendete Ansatz stuft den Gesamtindex um eine Stufe hoch, wenn mindestens zwei Schadstoffe im oberen Bereich der jeweiligen Kategorie liegen. Als Problem wird jedoch genannt, dass noch keine Mehrschadstoffmodelle in ausreichender Menge und mit vergleichbarer Qualität in der epidemiologischen Literatur zur Verfügung stehen (Dusseldorp et al. 2014). Eine evidenzbasierte Quantifizierung der zusätzlichen Effekte mit Hilfe von Mehrschadstoffmodellen kann daher noch nicht erfolgen. Cromar und Lazrak (2023) bewerten den niederländischen Ansatz als wenig sinnvoll, da die Wahrscheinlichkeit gering ist, dass sich mehrere Schadstoffe im oberen Bereich einer Klasse befinden (Cromar und Lazrak 2023). Die WHO AQG 2021 gibt keine Empfehlungen für Mehrfachbelastungen, betont aber die Notwendigkeit, umfassende Modelle zur Quantifizierung der Auswirkungen von Mehrfachbelastungen zu entwickeln, um die Evidenzlage zu verbessern.

In einer Recherche zu Wechselwirkungen bei Mehrfachbelastungen im Rahmen dieses Projekts wurden einige Originalstudien, jedoch keine aktuellen Übersichtsarbeiten gefunden, die klare und vergleichbare Angaben zum Ausmaß von Synergieeffekten oder Überadditivitäten für die gleichzeitige Wirkung von mehreren Luftschadstoffen machen. In den identifizierten Originalstudien wurden unterschiedliche Methoden angewandt, um ein zusätzliches Gesundheitsrisiko bei Mehrfachbelastungen abzuschätzen. Es gibt bisher jedoch keine einheitliche Methode, wie diese einzelnen Schätzungen aufsummiert oder in einen Index integriert werden könnten. Da insgesamt die Literatur zu Wechselwirkungen bei Mehrfachbelastungen noch keine systematische Bewertung erlaubt, gibt es bisher keine bevorzugte Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen bei der Entwicklung von LQI.

Ein weiterer Punkt, der sich aus der Vielzahl von zum Teil für die gleiche Region verfügbaren LQI ergibt ist die Vergleichbarkeit der Bewertungen der Indizes untereinander: für die Nutzerinnen und Nutzer eines LQI ist es verwirrend, wenn sich die Beurteilung der Luftqualität in mehreren LQI für Deutschland (z. B. UBA LQI, LQI eines Bundeslands, europäischer AQI und globale LQI) unterscheiden. Dies sollte bei einer Weiterentwicklung des UBA LQI berücksichtigt werden.

3 Vorschläge für einen neuen UBA LQI

3.1 Kriterien für und Ermittlung von Bewertungsklassen

3.1.1 Überlegungen zur Indexkonstruktion

Das UBA strebt an, einen Index auf der Basis von gesundheitlichen Effekten von Luftschadstoffen zu verwenden. Das heißt, der gesundheitliche Bezug ist von hoher Wichtigkeit bei einer Weiterentwicklung des bestehenden LQI. Dabei sollten aber grundlegende Eigenschaften des bestehenden LQI (unter anderem Klassenzahl, Farbschema, gesundheitsbezogene Empfehlungen, räumliche Gültigkeit, usw.) möglichst wenig geändert werden. Bei den Arbeitssitzungen und internen Diskussionen wurde diesen Grundsätzen folgend beschlossen, den bestehenden UBA LQI als Basis zu verwenden und die Einteilung des Index in fünf Klassen beizubehalten. Weiterhin beibehalten wird die Beurteilung der Einzelschadstoffe und die Kombination zu einem Gesamtindex. Jeder Schadstoff wird dabei zunächst für sich auf einer fünfstufigen Skala mit den Klassen „sehr gut“, „gut“, „mäßig“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ beurteilt. Anschließend werden die Einzelschadstoffbeurteilungen zu einem Gesamtindex zusammengefasst, der der schlechtesten Einzelschadstoffklasse entspricht und damit die gleichen qualitativen Bezeichnungen trägt. Dabei reicht das Vorhandensein von mindestens einem Schadstoff aus, um einen Gesamtindex abzuleiten. Wenn an einer Messstation nicht alle Schadstoffe gemessen werden, wird der Gesamtindex allerdings als unvollständiger Kreis dargestellt (sogenannter „Pac-Man“), um zu verdeutlichen, dass nicht zu allen Schadstoffen Informationen vorliegen und die Gesamtbeurteilung die tatsächliche Belastung evtl. unterschätzt.

Als wichtige Änderung wurde beschlossen, dass der Index auf stündlichen Werten der Luftschadstoffe basieren soll. Hierdurch wird ermöglicht, kurzfristige sowie transiente Spitzenbelastungen zu berücksichtigen und die aktuelle Luftqualität mit möglichst wenig Verzögerung zu beurteilen. Dies wiederum ermöglicht eine zeitnahe Kommunikation von erhöhten Gesundheitsrisiken an die Bevölkerung und an vulnerable Gruppen. Das Ziel ist, hierdurch unmittelbare Verhaltensänderungen der Nutzerinnen und Nutzer zu ermöglichen, die sich präventiv auf die Gesundheit auswirken können.

Gesetzlich festgelegt sind darüber hinaus die Berücksichtigung der fünf Schadstoffe PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃ und SO₂ (Europäische Kommission 2022). Dies stellt eine Änderung zum bestehenden UBA LQI dar, der SO₂, das in Deutschland nur an sehr wenigen Messtationen gemessen wird, nicht enthält.

Im Jahr 2021 wurden von der WHO aktualisierte Richtwerte für Luftschadstoffe veröffentlicht (WHO global air quality guidelines 2021). Diese neuen Richtwerte der WHO sind deutlich niedriger als die zuletzt im Jahr 2005 veröffentlichten Richtwerte (WHO Air quality guidelines 2006). Im Entwurf der Europäischen Kommission für die Luftqualitätsrichtlinie ist festgelegt, dass die zu entwickelnden LQI der europäischen Mitgliedsstaaten diese gesundheitsbezogenen Richtwerte berücksichtigen sollen (Europäische Kommission 2022).

Eine weitere Anforderung an den neuen Index ist, dass er sowohl Daten für die Allgemeinbevölkerung als auch für besonders vulnerable Gruppen enthalten soll. Optional sollte der Index auch die Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen vorsehen.

3.1.2 Normative Dokumente

3.1.2.1 EU-Luftqualitätsrichtlinie

Eine Grundlage für den UBA LQI ist der Entwurf der novellierten EU-Luftqualitätsrichtlinie. Die EU-Luftqualitätsrichtlinie ist das entscheidende Regelwerk zur Festlegung von Standards für die Luftqualität in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Die Novelle der EU-Luftqualitätsrichtlinie war zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Abschlussberichtes noch nicht verabschiedet. Für die hier enthaltenen Vorschläge eines risikobasierten UBA LQI wird als Grundlage der veröffentlichte Text der Richtlinie des EU-Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 26.10.2022 verwendet (im Folgenden EK Entwurf 2022 genannt) (Europäische Kommission 2022). Wo auf neuere Versionen der überarbeiteten Richtlinie zurückgegriffen wurde, ist dies gesondert gekennzeichnet.

Der EK Entwurf 2022 enthält die neueste Version der europäischen Luftqualitätsstandards in Form von detaillierten und verbindlich einzuhaltenden Grenzwerten bzw. nicht-bindenden Zielwerten für die Luftqualität. Diese EU-Luftqualitätsrichtlinie spiegelt dabei nicht in erster Linie die wissenschaftliche Evidenz zum Zusammenhang zwischen Luftqualität und Gesundheit wider, sondern berücksichtigt regionale Erwägungen und politisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die für den europäischen Kontext spezifisch sind. Die vorgeschlagenen Standards sind daher im Gegensatz zu den WHO AQG 2021 nicht primär gesundheitsbasiert.

Der EK Entwurf 2022 schreibt vor, dass jedes Mitgliedsland seiner Bevölkerung zeitnah eine Beurteilung der Luftqualität für die Schadstoffe PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃ und SO₂ auf stündlicher Basis in Form eines Index zur Verfügung stellt. Dieser Index soll sich an den WHO AQG 2021 orientieren.

Im April 2024 wurde die im Trilog-Verfahren überarbeitete EU-Luftqualitätsrichtlinie vom EU-Parlament formell angenommen (EU-Parlament 2024). Die angenommene Version von April 2024 enthält aktualisierte Alarm- und Informationsschwellen für Luftschadstoffe, die als Auslöser für öffentliche Benachrichtigungen und Maßnahmen zur Minderung potenzieller Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit erhöhten Schadstoffwerten dienen. Erstmals werden hier auch Alarm- und Informationsschwellen für Feinstaub festgelegt (EU-Parlament 2024). Diese Schwellenwerte werden bei der Entwicklung des risikobasierten UBA LQI berücksichtigt. Des Weiteren enthält diese Version einige spezifische Vorgaben zur Information der Bevölkerung. Es wird hervorgehoben, dass Empfehlungen zum Verhalten (körperliche Aktivität im Freien, Beobachtung von Symptomen) für die Allgemeinbevölkerung und für vulnerable Gruppen ausgesprochen werden sollen (EU-Parlament 2024). Dies wird ebenfalls bei der Entwicklung des risikobasierten UBA LQI berücksichtigt.

Aufgrund des Projektzeitplans wird jedoch in diesem Abschlussbericht das Dokument von April 2024 als Referenz für die Informations- und Alarmschwellen und für die Informationspflichten verwendet.

3.1.2.2 WHO AQG 2021

Das Hauptziel der WHO AQG 2021 besteht darin, weltweit gültige Empfehlungen für einzuhaltende Maximalkonzentrationen für Luftschadstoffe auf Basis ihrer gesundheitlichen Wirkungen festzulegen. Die Luftschadstoffkonzentrationen der WHO AQG 2021 sind keine Grenzwerte, sondern Empfehlungen und werden daher im Folgenden als Richtwerte bezeichnet. Die WHO AQG 2021 bieten einen umfassenden Rahmen für die Beurteilung der Luftqualität und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung. Sie dienen daher als ein wichtiges Referenzdokument und beinhalten eine umfassende Darstellung der maßgeblichen Literatur.

Zugleich enthalten die WHO AQG 2021 nicht nur empfohlene Richtwerte, sondern auch sogenannte Zwischenziele. Diese Zwischenziele sind höhere Werte als die Richtwerte und können von Behörden in Ländern mit hoher Luftschadstoffbelastung genutzt werden, um stufenweise Maßnahmen zur Reduzierung der Luftverschmutzung zu entwickeln. Sie sollten als Hilfen und Zwischenschritte auf dem Weg zur Erreichung der Richtwerte gesehen werden. Tabelle 24 enthält eine detaillierte Aufschlüsselung der Leitlinien für verschiedene Luftschadstoffe und Mittelungszeiten.

Tabelle 24: Richtwerte und Zwischenziele der WHO AQG 2021 für langfristige (jährlicher Mittelwert) und kurzfristige (24h- oder 8h-Mittelwerte) Schadstoffbelastung (WHO global air quality guidelines 2021). Richtwerte aus den WHO AQG 2005 für kürzere Mittelungszeiten wurden nicht überarbeitet und gelten weiterhin (WHO Air quality guidelines 2006).

Schadstoff	Mittelungszeit	Zwischenziel				WHO AQG Richtwert
		1	2	3	4	
PM _{2.5} µg/m ³	1 Jahr	35	25	15	10	5
	24 Stunden	75	50	37.5	25	15
PM ₁₀ µg/m ³	1 Jahr	70	50	30	20	15
	24 Stunden	150	100	75	50	45
O ₃ µg/m ³	Hochsaison ^a	100	70	-	-	60
	8 Stunden	160	120	-	-	100
NO ₂ µg/m ³	1 Jahr	40	30	20	-	10
	24 Stunden	120	50	-	-	25
SO ₂ µg/m ³	24 Stunden	125	50	-	-	40
CO mg/m ³	24 Stunden	7	-	-	-	4

^a Durchschnitt der täglichen maximalen 8h-Mittelwerte der O₃-Konzentration in den sechs zusammenhängenden Monaten mit dem höchsten laufenden Mittelwert (sechs Monate) der O₃-Konzentration

3.1.2.2.1 Bedeutung der Richtwerte und Zwischenziele der WHO AQG für die Definition der Bewertungsklassen

Da die Richtwerte der WHO AQG 2021 für den LQI genutzt werden, soll an dieser Stelle dargelegt werden, was diese darstellen und welche Konsequenzen sich aus der Methodik der Ableitung dieser Richtwerte für die Anwendung bei einem LQI ergeben. Die WHO AQG 2021 stellen keine Schwellenwerte für die Wirkung dar, sondern lediglich die Werte, oberhalb derer das Risiko für schwerwiegende Effekte auf die Gesundheit (z. B. Sterblichkeit) mit großer Sicherheit erhöht ist. Auch unterhalb der Richtwerte der WHO AQG 2021 kommen Gesundheitseffekte vor; sie können nur nicht mit der gleichen, in der Methodik der WHO AQG 2021 vorher festgelegten Sicherheit nachgewiesen werden. Darüber hinaus werden die Richtwerte für die Kurzzeitbelastung von den Richtwerten für die Langzeitbelastung abgeleitet. Die WHO AQG 2021 sind daher aufgrund ihrer Definition abhängig von der Güte und Quantität der wissenschaftlichen Studien für Langzeiteffekte. Je mehr gute Studien für niedrige Konzentrationen vorhanden sind, desto eher ist der geforderte Grad an Sicherheit erreicht, und desto tiefer liegen die entsprechenden

Richtwerte für die Langzeit- und die Kurzzeitkonzentrationen. Daher stellen die Richtwerte der WHO AQG 2021 keine risikoäquivalenten Konzentrationen dar.

Die Berücksichtigung der WHO AQG 2021 in den Vorgaben der EU-Luftqualitätsrichtlinie für die europäischen Indizes stellt ein Bekenntnis zu den neuesten wissenschaftlichen Fortschritten und internationalen Standards im Bereich der Luftqualitätsbeurteilung dar und soll einen fundierten und evidenzbasierten Ansatz für den Umgang mit luftqualitätsbedingten Gesundheitseffekten gewährleisten.

3.2 Empfehlungen für einen neuen LQI

Auf Basis der in der Literaturrecherche identifizierten LQI wurden mehrere Varianten für eine konkrete Ausgestaltung eines aktualisierten LQI vorgeschlagen, wobei in Abstimmung mit dem Auftraggeber schließlich zwei Vorschläge in jeweils zwei unterschiedlichen Varianten (jeweils ohne und mit Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen) final ausgearbeitet wurden.

3.2.1 Vorschlag 1 – Pragmatischer Ansatz

Der erste Vorschlag des Indexes stellt einen pragmatischen Ansatz dar. Dies bedeutet, es werden bestehende Grenzwerte, Richtwerte, Zielwerte und Alarm- oder Informationsschwellen für die verschiedenen Schadstoffe genutzt, um die Klassengrenzen für die einzelnen Schadstoffe zu definieren. Der große Vorteil dieses Ansatzes ist die relativ unkomplizierte Kommunikation der resultierenden Bewertungsklassen mit der Bevölkerung, da deren Grenzen normativen Werten entsprechen (z. B. der Alarmschwelle des EK Entwurfs 2022). Der Nachteil dabei ist, dass sich die Sprünge zwischen den Klassen bei den fünf Schadstoffen nicht auf den gleichen Anstieg in der gesundheitlichen Wirkung beziehen und hierdurch streng genommen schadstoffspezifische Empfehlungen in jeder Klasse notwendig werden. Außerdem besteht das grundlegende Problem, dass nur für die gasförmigen Schadstoffe Grenzwerte bzw. Richtwerte bezogen auf 1h-Werte zur Verfügung stehen (neue EU Luftqualitätsrichtlinie mit Grenzwerten und Alarmschwellen für NO₂ und O₃ basierend auf 1h-Werten; WHO AQG 2005 mit 1h-Richtwert für NO₂ und 10-Minutenwert für SO₂), während für Partikel nur Standards für längere Mittelungszeiten (24h-Mittelwert bzw. Jahresmittelwert) zur Verfügung stehen. Diese Problematik lässt sich nur durch weitere methodische Schritte umgehen, was wiederum dem Ansatz eines pragmatischen Index, der auf festgelegten Standards basiert, widersprechen würde.

Die Klassengrenzen werden beim pragmatischen LQI wie folgt vorgeschlagen: Für die Grenze zwischen den Klassen „sehr gut“ und „gut“ werden die Jahresrichtwerte gemäß den WHO AQG 2021 (bei Ozon: Hochsaison („peak season“)) für alle Schadstoffe genutzt. Die Rationale ist, dass bei Unterschreitung dieser Werte auch das Risiko für die langfristige Entwicklung von chronischen Erkrankungen sehr klein ist. Ausnahme ist die SO₂ Klassengrenze. Für SO₂ gibt es in der WHO AQG 2021 keinen Jahresrichtwert, sondern nur einen 24h-Richtwert. Daher wurde für die Klassengrenze bei SO₂ zwischen „sehr gut“ und „gut“ pragmatisch der 24h-Richtwert/2 gesetzt.

Für die Grenze zwischen den Klassen „gut“ und „mäßig“ werden die Richtwerte für Tagesmittelwerte und bei Ozon der max. 8h-Mittelwerte nach den WHO AQG 2021 genutzt. Die Begründung hierfür ist, dass bei Unterschreitung dieser Werte das Risiko für Kurzzeiteffekte entsprechend den Empfehlungen der WHO sehr klein ist.

Für die Grenze zwischen den Klassen „schlecht“ und „sehr schlecht“ wird die sogenannte Alarmschwelle des EK Entwurfs 2022 eingesetzt. Die Mittelungszeiten sind für die einzelnen Schadstoffe sehr unterschiedlich, was aber nicht weiter berücksichtigt wird.

Die verbleibende Klassengrenze zwischen „mäßig“ und „schlecht“ wird so gesetzt, dass die beiden resultierenden Bewertungsklassen („mäßig“ und „schlecht“) ungefähr die gleiche Konzentrationsspanne haben.

Tabelle 25: Vorschlag 1 für den pragmatischen LQI

Index	Stundenmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
	NO ₂		PM ₁₀		PM _{2.5}		O ₃		SO ₂	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
sehr schlecht ¹	201		91		51		241		501	
schlecht	101	200	66	90	31	50	171	240	151	500
mäßig	26	100	46	65	16	30	101	170	41	150
gut ²	11	25	16	45	6	15	61	100	21	40
sehr gut ³	0	10	0	25	0	5	0	60	0	20 ⁴

¹ Untere Klassengrenze Alarmschwelle nach EK Entwurf 2022 für 1h-Wert (Ozon, SO₂) bzw. Tagesmittelwerte (Kalendertag) für PM

² Obere Klassengrenze WHO AQD 2021 Kurzzeitwert für 24h (bei O₃ der maximale 8h-Wert)

³ Obere Klassengrenze WHO AQD 2021 Langzeitwert (bei O₃ peak season Mittelwert)

⁴ SO₂ WHO AQG 2021 24h-Wert für SO₂ multipliziert mit 0.5

3.2.2 Vorschlag 2 – Risikobasierter Ansatz

3.2.2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Die grundlegende Idee eines risikobasierten LQI ist, dass das Risiko für die selektierten gesundheitlichen Auswirkungen in jeder Bewertungsklasse unabhängig vom jeweiligen Schadstoff gleich ist. Die Bewertungsklassen sind somit risikoäquivalent. Das bedeutet beispielsweise, dass in der Bewertungsklasse „mäßig“ im Vergleich zu einer Schadstoffexposition von Null das Risiko für Krankenhausaufnahmen wegen respiratorischer Erkrankungen jeweils um den gleichen Prozentsatz erhöht ist, unabhängig davon, welcher Schadstoff für die Eingruppierung in diese Bewertungsklasse verantwortlich ist. Ein ähnlicher Ansatz wurde bei der Erstellung des Index in den Niederlanden verwendet (Dusseldorp et al. 2014).

Der risikobasierte Index fußt auf linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen zur kurzfristigen Wirkung von Luftschadstoffen im Hinblick auf verschiedene Gesundheitsendpunkte. Um die gewünschte Risikoäquivalenz zwischen den unterschiedlichen Schadstoffen zu erreichen, wurden die gesundheitlichen Wirkungen der im Index aufgenommenen Schadstoffe auf die Wirkung von PM_{2.5} standardisiert.

Für einen risikobasierten LQI, der aus verschiedenen Bewertungsklassen besteht, muss definiert werden, auf welchen Risikoerhöhungen die Klasseneinteilung beruht. Bei den für Luftschadstoffe vorliegenden linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen gibt es allerdings keine biologischen Wirkungsschwellen, die als Klassengrenzen definiert werden können. Dieser Problematik kann letztendlich nur durch eine normative Festlegung von Klassengrenzen begegnet werden, was beim risikobasierten UBA LQI mit Hilfe der WHO AQG 2021 realisiert wird.

3.2.2.2 Eingangsdaten

Der Index basiert auf stündlichen Messwerten zur Konzentration der Luftschadstoffe. Hierdurch wird ermöglicht, kurzfristige Veränderungen und Spitzenbelastungen zu berücksichtigen und die aktuelle Luftqualität mit möglichst geringer Verzögerung zu beurteilen. Dies wiederum erlaubt eine zeitnahe Kommunikation von erhöhten Gesundheitsrisiken an die Bevölkerung und insbesondere an vulnerable Gruppen. Das Ziel ist, hierdurch unmittelbare Verhaltensänderungen der Nutzerinnen und Nutzer zu ermöglichen, die das Auftreten von Symptomen bei bereits bestehenden Erkrankungen reduzieren oder sich präventiv auf allgemeine Krankheitsrisiken auswirken können.

Da epidemiologische Studien zu den gesundheitlichen Effekten sehr kurzfristiger (stündlicher) Expositionen nicht existieren, der Index sich aber an stündlichen Messwerten orientieren soll, enthält der risikobasierte UBA LQI ein Verfahren, um Effektschätzer, die sich auf 24h-Mittelungszeiten für die jeweiligen Schadstoffe beziehen, in Effekte für eine stündliche Exposition zu transformieren.

Die Umstellung auf stündliche Werte für Feinstaub (PM_{2.5}, PM₁₀) stellt eine der wesentlichen Neuerungen im Vergleich zum bisherigen Verfahren der Herleitung des UBA LQI dar, wie er seit Einführung einer Luftqualitäts-App für Smartphones aus dem Jahr 2019 Anwendung fand (Tobollik et al. 2021).

3.2.2.3 Indexbildung

Der risikobasierte UBA LQI berücksichtigt die fünf gesetzlich festgelegten Einzelschadstoffe PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃ und SO₂ (Europäische Kommission 2022). Jeder Schadstoff wird dabei zunächst für sich auf einer fünfstufigen Skala mit den Klassen „sehr gut“, „gut“, „mäßig“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ beurteilt. Anschließend werden die Einzelschadstoffbeurteilungen zu einem Gesamtindex zusammengefasst, welcher der schlechtesten Einzelschadstoffklasse entspricht und damit die gleichen qualitativen Bezeichnungen trägt. Dabei reicht das Vorhandensein von mindestens einem Schadstoff aus, um einen Gesamtindex abzuleiten. Wenn an einer Messstation nicht alle Schadstoffe gemessen werden, wird der Gesamtindex in der Luftqualitäts-App des UBA allerdings als unvollständiger Kreis dargestellt (z.B. 2/3 gefülltes Kreisdiagramm bei fehlender Messung eines Schadstoffs, sogenannter „Pac-Man“), um zu verdeutlichen, dass nicht zu allen Schadstoffen Informationen vorliegen und die Gesamtbeurteilung die tatsächliche Belastung evtl. unterschätzt. Diese Art der Indexbildung ist identisch mit dem derzeit genutzten 2021 beschriebenen UBA LQI.

3.2.2.4 Methodik der Ableitung

Die Ableitung des risikobasierten UBA LQI beruht auf einer Adaptation der Methodik, die für den niederländischen Index entwickelt wurde (Dusseldorp et al. 2014).

3.2.2.4.1 Überblick

1. Festlegung von Expositions-Endpunktpaaren (Kausalität, Public Health Relevanz)
2. Literaturrecherche zu epidemiologischen Übersichtsarbeiten zu Gesundheitseffekten für die festgelegten Expositions-Endpunktpaare und Datenextraktion
3. Qualitätsbeurteilung der Übersichtsarbeiten und Extraktion bzw. Berechnung der Effektschätzer für die festgelegten Expositions-Endpunktpaare
4. Transformation von Tageswerten auf Stundenwerte
5. Standardisierung der Schadstoffwirkungen auf PM_{2.5} als Referenzschadstoff
6. Festlegung von Bewertungsklassen für PM_{2.5} mittels WHO AQG 2021

7. Berechnung von risikoäquivalenten Bewertungsklassen für die anderen Schadstoffe und medizinisch-epidemiologische Überprüfung der Klassengrenzen

Diese Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

3.2.2.5 Schritt 1: Festlegung von Exposition-Endpunktpaaren

Ein Luftqualitätsindex sollte im besten Fall vor nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen aller Art warnen. Zu den kurzfristigen Auswirkungen, die hier im Fokus stehen, gehören in abnehmender Häufigkeit physiologische Veränderungen (Biomarker für Entzündung, oxidativen Stress, Koagulation, etc.), Symptome (u.a. Husten, pfeifendes Atmen, Atemnot, Engegefühl in der Brust, Herzstolpern, Herzsasen, Schwindel, Kopfschmerzen, etc.), eingeschränkte Organfunktionen, vermehrte Medikamenteneinnahmen, Notfälle und Krankenhausaufnahmen sowie Todesfälle. Todesfälle sind offensichtlich der schlimmste mögliche Endpunkt einer erhöhten Belastung, gleichzeitig aber auch der seltenste. Die Bevölkerung soll darüber hinaus vor den deutlich häufiger und bei niedrigeren Belastungen auftretenden Manifestationen von Erkrankungen geschützt werden, das heißt es sollen auch vermehrte Medikamenteneinnahmen, Notfälle und Krankenhausaufnahmen verhindert werden.

Diesem Ziel folgend wurden für die Entwicklung des risikobasierten UBA LQI vor allem Studien herangezogen, die Kurzzeitwirkungen von Luftschadstoffen auf Notfälle und Krankenhauseinweisungen analysiert haben. Zusätzlich wurde zur Erweiterung der Evidenzbasis auch die Sterblichkeit aufgenommen. Der risikobasierte UBA LQI bezieht sich also überwiegend auf Endpunkte, die für Gesundheit der Bevölkerung sowohl aufgrund ihrer Häufigkeit, als auch aufgrund ihrer medizinischen Bedeutung eine große Rolle spielen. Marker für physiologische Veränderungen wurden als Endpunkte nicht berücksichtigt, weil die hierfür zugrundeliegenden Studien häufig in kleineren und stark selektierten Studienpopulationen untersucht wurden und zudem die tatsächliche gesundheitliche Bedeutung dieser Biomarker-Veränderungen nicht belegt werden kann.

3.2.2.5.1 Ausgewählte Exposition-Endpunktpaare

Es wurden Endpunkte gewählt, bei denen ein kausaler oder wahrscheinlich kausaler Zusammenhang mit mehreren im Index vorkommenden Luftschadstoffen besteht. Die Evidenz für die kausalen oder wahrscheinlich kausalen Beziehungen der gewählten Endpunkte beruht auf einer großen Anzahl von Primärstudien. Folgende Endpunkte wurden für die Berechnung des Index berücksichtigt:

- ▶ Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen
- ▶ Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen
- ▶ Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma
- ▶ Gesamtsterblichkeit (natürliche Sterblichkeit, klassifiziert nach der Internationalen Statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (ICD) ICD-10: A00 bis R99)

Zur Feststellung der Kausalität der Zusammenhänge mit den im Index vorkommenden Schadstoffen wurden die Beurteilungen der US EPA genutzt, entnommen aus der regelmäßig überarbeiteten interaktiven Grafik des Swiss-TPH (Schweizerisches Tropen- und Public-Health-Institut 2024). Von einer kausalen Wirkung wird ausgegangen, wenn nachgewiesen wurde, dass ein Schadstoff bei bevölkerungsbezogenen Expositionen Auswirkungen auf die Gesundheit hat, und zwar auf der Grundlage von Studien, die mehrere Beweislinien abdecken (zelluläre,

tierexperimentelle, humanexperimentelle und epidemiologische Studien). Weiterhin muss gegeben sein, dass Zufallsergebnisse, Störfaktoren und andere Verzerrungen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können (US EPA 2015, 2024a, 2024b, 2024c). Darüber hinaus wurden die Beurteilungen zum Grad der Sicherheit der Evidenz aus den Übersichtsarbeiten genutzt, die der WHO AQG 2021 zugrunde liegen. Diese Übersichtsarbeiten sind zum Teil aktueller als die Dokumente der US EPA und enthalten eine standardisierte Evaluation der Evidenz.

3.2.2.5.1.1 Feinstaub

Kurzfristige Erhöhungen der Konzentration von Feinstaub (PM_{2.5} und PM₁₀) stehen unter anderem in einem kausalen Zusammenhang mit der nicht unfallbedingten Sterblichkeit und der Sterblichkeit aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (KHK), mit Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System wie Bluthochdruck und Herzrhythmusstörungen sowie mit Notfällen aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Darüber hinaus werden kurzfristige Wirkungen auf die Atemwege als wahrscheinlich kausal für eine Verschlimmerung bestehender Krankheiten, einer Zunahme der Symptome oder einer erhöhten Medikamenteneinnahme bei Erkrankten mit Asthma und COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung), für Notfälle aufgrund von Atemwegserkrankungen oder COPD, sowie für die Sterblichkeit wegen Atemwegserkrankungen angenommen.

3.2.2.5.1.2 Gase

Kurzfristige Erhöhungen der Konzentration von NO₂ und SO₂ haben kausale Auswirkungen auf die Sterblichkeit aufgrund von Atemwegserkrankungen. Die Auswirkungen einer kurzfristigen Erhöhung der Konzentrationen von O₃, SO₂ und NO₂ auf Atemwegserkrankungen und Notfälle aufgrund von Asthma, Atemwegserkrankungen (nur O₃) und COPD (nur O₃) werden ebenfalls als kausal eingestuft. Der Zusammenhang zwischen O₃, SO₂ und NO₂ und der Gesamtsterblichkeit wurde von der US EPA bisher nicht als kausal oder wahrscheinlich kausal eingestuft. Der Evidenzgrad für die Zusammenhänge wurde jedoch in den aktuelleren Übersichtsarbeiten für die WHO AQG 2021 (Orellano et al. 2020; Orellano et al. 2021) mit „hohe Sicherheit“ bewertet. Für die Evidenz zu Auswirkungen einer kurzfristigen Erhöhung der Konzentrationen von O₃, SO₂ oder NO₂ auf KHK oder auf Notfälle aufgrund von KHK gibt es bisher keine kausalen oder wahrscheinlich kausalen Bewertungen.

3.2.2.6 Schritt 2: Literaturrecherche

3.2.2.6.1 Suchstrategie

Für die Identifikation von relevanten Übersichtsarbeiten wurde in MEDLINE mit der Suchmaschine PubMed nach epidemiologischen Übersichtsarbeiten und Metaanalysen zu Kurzzeitwirkungen (24h- oder 8h-Belastung) für die oben genannten Expositions-Wirkungsbeziehungen recherchiert. Zeitliche und geographische Einschränkungen der Suche gab es nicht; die Sprachen waren auf Englisch und Deutsch begrenzt. Für den risikobasierten UBA LQI wurden die Schätzer für die gesundheitlichen Wirkungen aus den identifizierten Übersichtsarbeiten und Metaanalysen zu Kurzzeitwirkungen von Luftschadstoffen (NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, O₃ und SO₂) auf Notfallaufnahmen, Krankenhauseinweisungen und Sterblichkeit extrahiert. Für PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ und SO₂ wurden Tagesmittelwerte (24h) extrahiert, während für O₃ 8h-Maximalwerte einbezogen wurden.

Deutschland hat im Vergleich zu vielen anderen Regionen der Welt relativ niedrige O₃-Konzentrationen, bedingt durch die geographische Lage und das gemäßigte Klima. Deshalb wurde die Recherche von Kurzzeiteffekten von O₃ auf Krankenhauseinweisungen und Notfallaufnahmen auf Regionen beschränkt, die ähnliche O₃-Konzentrationen haben. Es wurden

daher, soweit die Datenlage dies ermöglichte, Schätzer von Übersichtsarbeiten aus zu Deutschland vergleichbaren Regionen genutzt, beziehungsweise falls möglich neue Metaanalysen speziell anhand von Daten aus vergleichbaren klimatischen Regionen durchgeführt.

3.2.2.6.2 Ausgewählte relative Risiken (RR)

Im Folgenden werden die Datenquellen benannt, aus denen die Effektschätzer für die festgelegten Expositions-Endpunktpaare extrahiert wurden. Alle genutzten Effektschätzer sind als Prozentanstieg der Fälle pro Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³ in Tabelle 26 zusammengefasst. Aufgrund von unterschiedlich präziser Angabe der Effektschätzer in den Ergebnissen der herangezogenen Studien wurde entschieden, alle Schätzer für Prozentsätze auf die erste Dezimalstelle zu runden, um die Genauigkeit zu standardisieren. In Fällen, in denen eine Fünf an zweiter Dezimalstelle stand, wurde aufgerundet.

3.2.2.6.2.1 Gesamtsterblichkeit

In die hier vorliegende Arbeit sind die Übersichtsarbeiten zur Analyse der kurzfristigen Schadstoffbelastung und der Sterblichkeit eingegangen (Orellano et al. 2020; Orellano et al. 2021). Diese Publikationen liegen den WHO AQG 2021 zugrunde. Zu den in dieser Übersichtsarbeit betrachteten Todesursachen gehören die Sterblichkeit aufgrund natürlicher Ursachen (ICD-10: A00 bis R99) für alle im Index vorkommenden Schadstoffe, die Sterblichkeit durch Atemwegserkrankungen (ICD-10: J00 bis J99) für PM₁₀, PM_{2.5} und SO₂, sowie die kardio- (ICD-10: I01 bis I59) und zerebrovaskuläre Sterblichkeit (ICD-10: I60 bis I69) für PM₁₀ und PM_{2.5}. Die jeweiligen Effektschätzer pro 10 µg/m³ wurden aus Orellano et al. (2020) und Orellano et al. (2021) entnommen. Für die Gesamtsterblichkeit betragen sie für PM₁₀ 0.4 % (95% CI: 0.3; 0.5), für PM_{2.5} 0.7 % (95% CI: 0.4; 0.9), für O₃ 0.4 % (95% CI: 0.3; 0.5), für NO₂ 0.7 % (95% CI: 0.6; 0.9) und für SO₂ 0.6 % (95% CI: 0.5; 0.7), pro 10 µg/m³.

3.2.2.6.2.2 O₃ und Krankenhauseinweisungen wegen Asthma

Der Effektschätzer für die Assoziation zwischen O₃ und die Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen aufgrund von Asthma wurde von Zheng et al. (2021) abgeleitet. Der ursprüngliche Effektschätzer von O₃, der auf der Grundlage von 27 Studien aus verschiedenen Regionen weltweit beruhte, betrug 0.8 % (95% CI: 0.5; 1.1) pro 10 µg/m³ für den Anstieg der Krankenhauseinweisungen und Notfallaufnahmen. Es wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt, dass für die Ableitung des Risikos in Deutschland bevorzugt Studien aus Regionen mit vergleichbaren meteorologischen Bedingungen genutzt werden sollten. Insofern wurde ein Meta-Schätzer für O₃ von 0.3 % (95% CI: -0.7; 1.5) für den Anstieg der Krankenhauseinweisungen und Notfallaufnahmen pro 10 µg/m³ ermittelt, welcher nur auf vier Studien aus Mittel- und Nordeuropa (Großraum Paris, Amsterdam, Manchester, London: Medina et al. 1997; Schouten et al. 1996; Wilson et al. 2005; Atkinson et al. 1999) basiert. Studien aus dem Mittelmeerraum wurden wegen der dort deutlich höheren O₃-Belastungen nicht genutzt.

3.2.2.6.2.3 O₃ und Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen

Es gibt nur wenige Belege für die kurzfristigen Auswirkungen von O₃ auf die Krankenhausaufnahmen von Personen mit respiratorischen Erkrankungen. Eine aktuelle systematische Literaturübersicht zum Zusammenhang zwischen O₃-Belastung und Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischen Erkrankungen wurde nicht identifiziert. Die ältere umfassende WHO-Übersichtsarbeit, das HRAPIE-Projekt (WHO Regional Office for Europe 2013), wurde aus folgenden Gründen nicht zur Extraktion relativer Risiken herangezogen: Im Rahmen des HRAPIE-Projekts wurde der Zusammenhang zwischen O₃ und Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen aus der APHENA-Studie

übernommen (WHO Regional Office for Europe 2013). Für Europa standen Daten aus lediglich acht Städten zur Verfügung, die nach respiratorischen und kardiovaskulären Erkrankungen stratifiziert waren, allerdings nur für Personen im Alter von 65 Jahren und adjustiert für PM_{10} . Aufgrund der geographischen Lage der Originalstudien und der Altersbeschränkung der europäischen Studien wurden die Daten aus dem HRAPIE-Projekt nicht genutzt.

In der neuesten Scoping-Übersichtsarbeit von Abed Al Ahad et al. (2020) eignete sich nur eine Studie zu Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen für die Ableitung von Kurzzeiteffekten von O_3 in einem gemäßigten Klima (Hůnová et al. 2013). Diese Studie wurde in Prag durchgeführt und umfasste eine Bevölkerung von etwa 1200000 Einwohnenden, wobei Daten aus staatlichen Registern verwendet wurden. Der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegserkrankungen wurde auf 0.2 % (95% CI: -1.1; 1.5) für ein Inkrement von $10 \mu g/m^3$ der maximalen 8h-Konzentration von O_3 mit Verzögerung von einem Tag (lag1) geschätzt.

Eine quantitative systematische Übersichtsarbeit zu den Zusammenhängen zwischen einer kurzfristigen Exposition gegenüber O_3 und Sterblichkeit sowie Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen wurde im Jahr 2014 von (Atkinson et al. 2014) veröffentlicht. In dieser Übersichtsarbeit wurde ein positiver Zusammenhang zwischen achttündiger O_3 Konzentration (Mittelwert) und der Zunahme von Krankenhauseinweisungen aufgrund respiratorischer Erkrankungen (0.75 % (95% CI: 0.30; 1.19) Anstieg der Krankenhauseinweisungen pro $10 \mu g/m^3$) festgestellt. Bei der Analyse nach Regionen wurde der Zusammenhang zwischen O_3 und allen respiratorischen Erkrankungen in Europa auf 0.14 % (95% CI: -0.22; 0.51) pro $10 \mu g/m^3$ geschätzt und basierte auf den in Nikosia, Paris, Rom, London und den West Midlands durchgeführten Studien. Die Prager Studie (Hůnová et al. 2013) wurde nicht in diese systematische Erfassung von Atkinson einbezogen, da sie später als das Zeitfenster der Suche (bis Mai 2011) veröffentlicht wurde.

Auf der Grundlage der oben erwähnten Studien wurde beschlossen, für die Effektschätzung von O_3 auf die Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen zwei Quellen zu verwenden: die Studie aus der Tschechischen Republik von Hůnová et al. (2013) und die systematische Übersichtsarbeit von Atkinson et al. (2014) für die europäische Region. Die Berechnung eines gewichteten Durchschnitts der beiden vorliegenden Schätzer (0.20 % (95% CI: -1.1; 1.5) und 0.14 % (95% CI: -0.22; 0.51)) war wegen der dünnen Datenlage nicht möglich. Daher wurde der Effektschätzer von für Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen bei einer kurzfristigen O_3 -Belastung als ungewichteter Mittelwert der Schätzer beider Studien angesetzt und auf 0.2 % (95% CI: -0.2; 0.5) gerundet.

3.2.2.6.2.4 $PM_{2.5}$ und Asthma

Die Effektschätzer für $PM_{2.5}$ und Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen aufgrund von Asthma bei $PM_{2.5}$ -Belastungen wurden aus der systematischen Literaturübersicht zu nicht-tödlichen Auswirkungen von $PM_{2.5}$ (Ru et al. 2023) übernommen. In dieser Studie finden sich zwei separate Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen und Notfallaufnahmen, die 1.4 % (95% CI: 0.8; 2.0) bzw. 4.3 % (95% CI: 2.6; 6.2) pro $10 \mu g/m^3$ betragen. Um jedoch mit anderen Quellen formal übereinzustimmen, sollte die Effektschätzung für Asthma-bezogene Endpunkte sowohl Notfallaufnahmen als auch Krankenhauseinweisungen umfassen. Für die Effektschätzung wurde daher der Mittelwert dieser Werte angesetzt, woraus sich für $PM_{2.5}$ ein Effektschätzer für Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma von 2.9 % (95% CI: 1.7; 4.1) pro $10 \mu g/m^3$ ergibt.

3.2.2.6.2.5 *PM₁₀ und Asthma*

Eine etwas ältere systematische Literaturübersicht über asthmabezogene Endpunkte (Zheng et al. 2015), die von derselben Autorengruppe wie in Zheng et al. (2021) mit ähnlichen Ein- und Ausschlusskriterien durchgeführt wurde, lieferte die relativen Risiken für PM₁₀, welche in die Berechnungen mit einbezogen wurden. Der Effektschätzer von PM₁₀ pro 10 µg/m³ für den Anstieg der Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma beträgt 1.0 % (95% CI: 0.8; 1.3).

3.2.2.6.2.6 *PM_{2.5} und respiratorische Erkrankungen*

Der Effektschätzer für respiratorische Erkrankungen bei PM_{2.5}-Belastungen wurde aus der systematischen Literaturübersicht zu nicht-tödlichen Auswirkungen von PM_{2.5} (Ru et al. 2023) übernommen. Bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentration von PM_{2.5} um 10 µg/m³ beträgt der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen 1.4 % (95% CI: 1.0; 1.7).

3.2.2.6.2.7 *PM₁₀ und respiratorische Erkrankungen*

Der Effektschätzer für PM₁₀ und respiratorische Erkrankungen wurde aus der neuesten Scoping-Literaturübersicht übernommen (Abed Al Ahad et al. 2020). Diese Übersichtsarbeit wurde als narrative Zusammenfassung der Literatur über den Zusammenhang von Luftverschmutzung und Wetter mit Sterblichkeit und Krankenhauseinweisungen ohne Metaanalyse durchgeführt. Für das hier vorliegende Projekt wurde die ausführliche Beschreibung der Studien und der einzelnen Effektschätzer genutzt, um einen gewichteten Metaschätzer für einen Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³ zu berechnen. Es wurden nur Studien mit einer verzögerten Wirkungsbetrachtung (lag) von ≤2 Tagen genutzt (Basagaña et al. 2015; Tomášková et al. 2016). Auf der Grundlage dieser Literaturquellen beträgt der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen für PM₁₀ 1.6 % (95% CI: 0.04; 3.14) (eigene Berechnung als gewichteter Durchschnitt aus den beiden oben genannten Studien).

3.2.2.6.2.8 *PM_{2.5} und kardiovaskuläre Erkrankungen*

Der Effektschätzer für kardiovaskuläre Erkrankungen bei einem PM_{2.5}-Belastungsanstieg um 10 µg/m³ wurde der systematischen Literaturübersicht zu nicht-tödlichen Auswirkungen von PM_{2.5} (Ru et al. 2023) entnommen: hier beträgt der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen bei einem Anstieg der PM_{2.5}-Belastung um 10 µg/m³ 1.0 % (95% CI: 0.6; 1.4).

3.2.2.6.2.9 *PM₁₀ und kardiovaskuläre Erkrankungen*

Die Auswirkungen der PM₁₀-Belastung auf kardiovaskuläre Erkrankungen wurden aus der Scoping-Literaturübersicht übernommen (Abed Al Ahad et al. 2020). Für das hier vorliegende Projekt wurde die ausführliche Beschreibung der Studien und der einzelnen Effektschätzer genutzt, um den gewichteten Durchschnitt des prozentualen Anstiegs der Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³ zu berechnen. Für den Effektschätzer für PM₁₀ und kardiovaskuläre Erkrankungen wurden nur Studien mit einem lag von ≤2 Tagen ausgewählt (Colais et al. 2012; Stafoggia et al. 2017; Basagaña et al. 2015; Tomášková et al. 2016). Der Effektschätzer für den Anstieg der Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen beträgt für PM₁₀ 0.7 % pro 10 µg/m³ (95% CI: 0.2; 1.1) (eigene Berechnung).

3.2.2.6.2.10 NO₂ und Asthma

Der Effektschätzer für die Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma auf Grund von NO₂ wurde von Zheng et al. (2021), der systematischen Literaturübersicht, die speziell für die Veröffentlichung der WHO AQG 2021 erstellt wurde, abgeleitet. Für eine Steigerung der Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma beträgt der Effektschätzer 1.4 % (95% CI: 0.8; 2) bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³.

3.2.2.6.2.11 NO₂ und respiratorische Erkrankungen

Der Effektschätzer für respiratorische Erkrankungen bei NO₂-Belastungen wurden aus dem HRAPIE-Projekt (WHO Regional Office for Europe 2013) übernommen. Der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen beträgt 1.8 % (95% CI: 1.1; 2.5) für NO₂ bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³ (Anderson et al. 2007, in HRAPIE-Projekt zitiert).

3.2.2.6.2.12 SO₂ und Asthma

Der Effektschätzer für die Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma auf Grund von SO₂ wurde von Zheng et al. (2021) in einer systematischen Literaturübersicht, die speziell für die Veröffentlichung der WHO AQG 2021 erstellt wurde, abgeleitet. Der Effektschätzer für Krankenhauseinweisungen wegen Asthma beträgt 1.0 % (95% CI: 0.1; 2) für NO₂ bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³.

Tabelle 26: Relative Risiken als zusätzliche Fälle in Prozent bei kurzfristiger Schadstoffbelastung (24h- oder 8h-Mittelwerte) pro 10 µg/m³ Konzentrationserhöhung

Schadstoff	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen in %	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen in %	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma in %	Zusätzliche Sterbefälle in %
PM _{2.5} (24h)	1.0 (0.6; 1.4) ^{[1] a}	1.4 (1.0; 1.7) ^{[1] a}	2.9 (1.7; 4.1) ^{[1] ***}	0.7 (0.4; 0.9) ^[8]
PM ₁₀ (24h)	0.7 (0.2; 1.1) ^[3]	1.6 (0.0; 3.1) ^[3]	1.0 (0.8; 1.3) ^[5]	0.4 (0.3; 0.5) ^[8]
O ₃ (8h)	Na	0.2 (-0.2; 0.5) ^{[6,7] *}	0.3 (-0.7; 1.5) ^{[4] **}	0.4 (0.3; 0.5) ^[8]
NO ₂ (24h)	Na	1.8 (1.1; 2.5) ^[2]	1.4 (0.8; 2) ^[4]	0.7 (0.6; 0.9) ^[8]
SO ₂ (24h)	Na	Keine Daten	1.0 (0.1; 2) ^[4]	0.6 (0.5; 0.7) ^[9]

^[1] Ru et al. (2023), ^[2] WHO Regional Office for Europe (2013); ^[3] Abed Al Ahad et al. (2020); ^[4] Zheng et al. (2021); ^[5] Zheng et al. (2015); ^[6] Hůnová et al. (2013); ^[7] Atkinson et al. (2014); ^[8] Orellano et al. (2020); ^[9] Orellano et al. (2021); * Ein Durchschnitt zwischen den Schätzungen in Hůnová et al. (2013) und in Atkinson et al. (2014) nur für die europäische Region; ** Nur Nordeuropa, das den Großraum Paris, Amsterdam, Manchester und London umfasst; *** Mittelwert zweier linearer relativer Risiken von Notfallaufnahmen und Krankenhauseinweisungen wegen Asthma; ^a Nutzung der linearen Expositions-Wirkungsbeziehung. Na - nicht anwendbar, weil die Evidenz für einen Zusammenhang nicht als mindestens wahrscheinlich kausal eingeschätzt wird.

Wenn in den Studien mehrere zeitlich verzögerte Expositionsperioden (sogenannte „lag-Perioden“) angegeben wurden, wurden vorrangig kurze lag- und Mittelungszeiten (8h oder 24h), nicht aber kumulative lag-Perioden (also z. B. der Mittelwert der letzten 48h oder 72h) ausgewählt. Die Einzelheiten sind in den nachstehend zitierten Originalveröffentlichungen zu finden.

In Tabelle 27 sind die Zeitintervalle angegeben, die die kurzfristigen Expositionsperioden in den ausgewählten Studien darstellen.

Tabelle 27: Erfasste lag-Perioden in ausgewählten Studien

Studien	Endpunkt	Schadstoffe	Für die Metaanalyse genutzte lag-Perioden in den Originalstudien; erfasste Lags (in Tagen)
Ru et al. (2023)	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	PM _{2.5}	Lag-Perioden und kumulative lag-Perioden in den meisten Studien zwischen lag 0 und lag 5, drei Studien mit kumulativen lag-Perioden von 0-6, 0-7 und 0-11 Tagen.
	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen	PM _{2.5}	Lag-Perioden und kumulative lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 6
	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	PM _{2.5}	Lag-Perioden und kumulative lag-Perioden in den meisten Studien zwischen lag 0 und lag 3, drei Studien mit lag- und kumulativen lag-Perioden von 0-6, 14 und 0-14 Tagen.
Abed Al Ahad et al. (2020)	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen	PM ₁₀	Lag 0 und kumulative lag-Periode von 0-1
	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	PM ₁₀	Lag 0
Zheng et al. (2021)	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	O ₃	Lag 0 und lag 1
	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	NO ₂ , SO ₂	Lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 4
Zheng et al. (2015)	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	PM ₁₀	Lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 7
WHO Regional Office for Europe (2013)	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	NO ₂	Lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 3
Hůnová et al. (2013)	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	O ₃	Lag 1
Atkinson et al. (2014)	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	O ₃	Lags 0, 1, 2 und kumulative lag-Periode von 0-1
Orellano et al. (2020)	Zusätzliche Sterbefälle	PM _{2.5} , PM ₁₀ , NO ₂ , O ₃	Lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 7

Studien	Endpunkt	Schadstoffe	Für die Metaanalyse genutzte lag-Perioden in den Originalstudien; erfasste Lags (in Tagen)
Orellano et al. (2021)	Zusätzliche Sterbefälle	SO ₂	Lag-Perioden zwischen lag 0 und lag 7

3.2.2.7 Schritt 3: Qualitätsbeurteilung der systematischen Übersichtsarbeiten und Metaanalysen

Die identifizierten Übersichtsarbeiten und Metaanalysen wurden hinsichtlich des Vorhandenseins einer formalen Qualitätsbeurteilung der berücksichtigten Evidenz überprüft. Die systematische Qualitätsbeurteilung von Einzelstudien sowie der Gesamtevidenz einer systematischen Übersichtsarbeit ist eine relativ neue Entwicklung. Es wurden in den letzten Jahren mehrere Instrumente zur Analyse von potentiellen Verzerrungsrisiken („Risk of Bias“ Instrumente) entwickelt. Daher finden sich in aktuellen Übersichtsarbeiten häufig formelle und Kriterien-basierte Qualitätsbeurteilungen, während ältere Übersichtsarbeiten eher narrative und damit weniger standardisierte Verfahren zur Beurteilung der Qualität der Einzelstudien anwenden. Auch eine systematische Evaluation der Gesamtevidenz, wie sie z. B. in Instrumenten wie der GRADE-Methodik (Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation GRADE | Cochrane Deutschland 2024) oder im Instrument des „Office of Health Assessment and Translation“ (OHAT, National Institute of Environmental Health Sciences 2024) vorgenommen wird, ist eine eher neue Entwicklung. Die in den genutzten Übersichtsarbeiten angewandte formale Qualitätsbeurteilung bzw. die angewandten Methoden unterscheiden sich daher erheblich in Umfang und Qualität und ein Teil der Übersichtsarbeiten enthält keine formalen Qualitätsbeurteilungen.

In drei Artikeln, Zheng et al. (2021), Orellano et al. (2021) und Orellano et al. (2020), wurde ein Instrument zur Bewertung des Verzerrungsrisikos verwendet (modulares „Risk of Bias“ Instrument), das im Rahmen der Erstellung der WHO AQG 2021 entwickelt wurde (WHO Global Air Quality Guidelines Working Group on Certainty of Evidence Assessment 2020; WHO Global Air Quality Guidelines Working Group on Risk of Bias Assessment 2021). Die Bewertung des Verzerrungsrisikos für die einzelnen Studien basierte auf den Bereichen Confounding, Stichprobenfehler, Expositionserfassung, Ergebnismessung, fehlende Daten und selektive Berichterstattung. Die Ergebnisse für jeden Bereich wurden separat analysiert. In den Studien, die die Assoziation zwischen den Luftschadstoffen (NO₂ (24h), SO₂ (24h), O₃ (8h), PM₁₀ (24h), PM_{2.5} (24h)) und der Gesamtsterblichkeit für alle fünf Schadstoffe analysierten (Orellano et al. 2020; Orellano et al. 2021), wurde festgestellt, dass in drei von sechs Bereichen das Verzerrungsrisiko meist gering oder mäßig war. Dies galt insbesondere für den Stichprobenfehler, die Expositionserfassung und die selektive Berichterstattung. Das höchste Verzerrungsrisiko wurde jedoch im Bereich der fehlenden Daten beobachtet, wo 59 % der Expositionsergebniskombinationen betroffen waren, hauptsächlich aufgrund unzureichender Informationen über fehlende Werte oder die Anwendung von Imputationsmethoden. Nach dem GRADE-Ansatz war die Bewertung des Verzerrungsrisikos zwischen O₃ (8h), SO₂ (24h) und NO₂ (24h) und den Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma (Zheng et al. 2021) wie folgt: das Verzerrungsrisiko war in den Studien im Bereich der fehlenden Daten besonders hoch, da keine Angaben zu den Imputationsmethoden oder zum Umfang der fehlenden Daten gemacht wurden. Darüber hinaus wurde eine Verzerrung im Bereich der Ergebnisse beobachtet, hauptsächlich, weil Asthma-Exazerbationen selbst berichtet und nicht medizinisch diagnostiziert und ICD-Instrumente nicht zur Klassifizierung verwendet wurden.

Probleme im Bereich Confounding waren minimal, andere Bereiche waren in der Analyse nicht signifikant.

In der Veröffentlichung einer neuen Konzentrations-Wirkungsbeziehung für sieben Morbiditätsendpunkte im Zusammenhang mit kurzfristiger PM_{2.5}-Exposition (Ru et al. 2023), welche zur Extraktion der prozentualen Veränderungen bei Krankenhauseinweisungen aufgrund von Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Asthma verwendet wurde, ist das mögliche Vorhandensein von Publikations-Bias in der Literaturübersicht anhand von Funnel Plots bewertet worden. Das mögliche Vorhandensein von Publikationsverzerrungen in der Metaanalyse wurde bei den Funnel Plots für jeden Morbiditätsendpunkt in Ru et al. (2023) bestätigt, insbesondere bezüglich der Notfallaufnahmen wegen Asthma für die gesamte Bevölkerung.

In Zheng et al. (2015) wurde die Validität der Studien auf der Grundlage der in den früheren systematischen Übersichten von Mustafic et al. (2012) vorgeschlagenen Methoden bewertet. Für die Qualität wurden drei Komponenten bewertet: die Validität der Asthmediagnose (0 bis 1 Punkt), die Messung der Luftschadstoffe (0 bis 1) und die Adjustierung für Störfaktoren (Confounding, 0 bis 3). Studien, die fünf Punkte erhielten, wurden in Sensitivitätsanalysen analysiert. Ein potenzieller Publikations-Bias wurde mit Egger-Test untersucht und bestätigt.

Im HRAPIE-Projekt (WHO Regional Office for Europe 2013) wurde die Qualität der Studien von einer Gruppe aus Expertinnen und Experten bewertet und der Grad der Sicherheit für die korrekte Risikoschätzung für die jeweiligen Expositions-Endpunktpaare in zwei Stufen (Gruppe A: zuverlässige Quantifizierung der Effektgröße möglich; Gruppe B: Unsicherheit bzgl. der exakten Quantifizierung der Effektgröße) eingeteilt. Für das in dieser Arbeit genutzte Expositions-Endpunktpaar von NO₂ und respiratorischen Erkrankungen wurde das Vertrauen in eine korrekte Risikoschätzung als hoch (Gruppe A) klassifiziert.

In der systematischen Recherche von Atkinson et al. (2014) wurden mit verschiedenen Methoden Hinweise auf eine Verzerrung durch kleine Studien identifiziert (Begg und Berlin 1989; Egger et al. 1997; Duval und Tweedie 2000). Die Effektschätzer wurden um Hinweise auf eine Verzerrung durch kleine Studien bereinigt, sofern eine solche festgestellt wurde. Für die Assoziation zwischen O₃ und Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen wurden keine Hinweise auf eine Verzerrung durch kleine Studien gefunden.

In der Scoping-Literaturübersicht Abed Al Ahad et al. (2020), welche zur Extraktion von Effekten von PM₁₀ verwendet wurde, erfolgte keine Bewertung des Verzerrungsrisikos. In der Studie Hůnová et al. (2013) wurde ebenfalls keine Bewertung hinsichtlich des Risikos einer Verzerrung beschrieben.

Zusammenfassend zeigt die Überprüfung der identifizierten Übersichtsarbeiten und Metaanalysen, dass formale Qualitätsbeurteilungen der berücksichtigten Evidenz eine relativ neue Entwicklung sind, wobei moderne Instrumente wie GRADE oder OHAT zur systematischen Evaluation der Evidenzbasis verwendet werden. Neuere Arbeiten, wie die von Zheng et al. und Orellano et al., verwenden spezifische „Risk of Bias“ Instrumente zur Bewertung von Verzerrungsrisiken in verschiedenen Bereichen. Diese Instrumente helfen, potenzielle Verzerrungsrisiken zu analysieren. Ältere Studien nutzen oft weniger formalisierte narrative Ansätze. Bei Anwendung der neueren Methoden werden selten schwerwiegende Einschränkungen der Qualität identifiziert. In den meisten Fällen war die Qualität der Evidenz hoch. Im Gegensatz dazu haben andere Studien wie die von Abed Al Ahad et al. und Hůnová et al. keine systematische Bewertung des Verzerrungsrisikos durchgeführt. Ein hohes Risiko von Verzerrungen ist daher hier nicht auszuschließen, aber aufgrund der oben genannten Ergebnisse eher unwahrscheinlich.

3.2.2.8 Schritt 4: Transformation der Effektschätzer von Tageswerten auf Stundenwerte

3.2.2.8.1 Definition des Transformationsfaktors

Die Gesundheitsendpunkte liegen in den Studien nahezu ausschließlich mit einer zeitlichen Auflösung von maximal einem Tag vor. Zeitlich differenziertere, z. B. stündliche, Angaben zu diesen Endpunkten sind nur in sehr wenigen Studien und Studiendesigns vorhanden (z. B. in case-crossover Studien zu Herzinfarkten unter Nutzung exakter Zeitangaben des Eintritts des Infarktes). Die hier berücksichtigte Studienbasis besteht daher in erster Linie aus Effektschätzern, die auf die 24h- oder 8h-Mittelwerte der Luftschadstoffkonzentrationen bezogen sind. Dies passt nicht zu dem Ziel, den neuen Index auf stündlichen Schadstoffkonzentrationen zu basieren, wenn der Anspruch besteht, dass dieser eine aktuelle Bedeutung für die Gesundheit haben soll.

Da der überarbeitete LQI auf gemessenen Stundenmittelwerten basieren soll, wurde ein Verfahren zur Transformation von relativen Risiken, die auf Tagesmittelwerten oder gleitenden 24h-Mittelwerten der Luftschadstoffkonzentrationen beruhen, in relative Risiken, die auf 1h-Mittelwerten beruhen, angewandt (siehe Tabelle 26 zu den hierfür verwendeten Kurzzeit-Studien).

Diese Transformation basiert auf mehreren Annahmen. Die grundlegende Annahme ist, dass die Risikoerhöhung für den Tagesmittelwert oder den gleitenden 24h-Mittelwert stark mit der Risikoerhöhung korreliert, welche durch das 1h-Tagesmaximum innerhalb dieser Zeitperiode gegeben ist. Das 1h-Tagesmaximum ist der 1h-Mittelwert des Stundenintervalls mit der höchsten Belastung des Tages. Das heißt, wenn eine Zeitreihenstudie durchgeführt wird, in der die Assoziation der 24h-Mittelwerte mit der täglichen Sterblichkeit untersucht wird, und eine zweite Zeitreihenstudie, in der die Assoziation des 1h-Tagesmaximums mit der täglichen Sterblichkeit untersucht wird, dann sind die beiden Effektschätzer, die aus diesen beiden Zeitreihenstudien resultieren, hoch korreliert. Empirische Grundlagen für diese Annahme finden sich unter anderem in der Literatur zum kanadischen LQI (Stieb et al. 2008). In Stieb et al. (2008) wurde empirisch gezeigt, dass die auf den 3h- oder 1h-Tagesmaxima basierenden Effekte von CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5} und SO₂ für die Gesamtsterblichkeit den Effekten des jeweiligen 24h-Mittelwertes entsprechen.

Darüber hinaus sind die 1h-Tagesmaxima der Luftschadstoffkonzentrationen hoch korreliert mit den 24h-Mittelwerten der Luftschadstoffkonzentrationen (Stieb et al. 2008). Das heißt, dass aus dem 24h-Mittelwert der Luftschadstoffkonzentration Rückschlüsse auf das 1h-Tagesmaximum gezogen werden können.

In einem ersten Schritt (Berechnung des Transformationsfaktors) wurde daher zunächst ein Transformationsfaktor berechnet, definiert als das Verhältnis des 1h-Tagesmaximums zum 24h-Mittelwert der Luftschadstoffkonzentrationen (Abbildung 1). Für die O₃-Konzentration, für die der Effektschätzer in den meisten Studien auf den maximalen gleitendem 8h-Mittelwert des Tages bezogen ist, wurde das Verfahren analog angewandt (Abbildung 2).

Abbildung 1: Berechnung des Transformationsfaktors

$$\text{Transformationsfaktor} = \frac{\text{1h-Tagesmaximum für Luftschadstoff X}}{\text{24h-Mittelwert für Luftschadstoff X}}$$

Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

Abbildung 2: Berechnung des Transformationsfaktors für O₃

$$\text{Transformationsfaktor O}_3 = \frac{\text{1h-Tagesmaximum für O}_3}{\text{8h-Mittelwert für O}_3}$$

Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

In einem zweiten Schritt (Transformation der Effektschätzer) wurde dieser Transformationsfaktor auf die 24h-Effektschätzer für die Expositions-Endpunktpaare angewandt. Hierzu wurden die 24h-Effektschätzer pro Schadstoff durch den Schadstoff-spezifischen Transformationsfaktor geteilt, um die stündlichen Risikoschätzer zu erhalten (Abbildung 3). Für O₃ wurde analog der Transformationsfaktor für O₃ auf die 8h-Effektschätzer angewandt (Abbildung 4).

Abbildung 3: Berechnung des 1h-Effektschätzers

$$\text{1h-Effektschätzer Luftschadstoff X} = \frac{\text{24h-Effektschätzer}}{\text{Transformationsfaktor}}$$

Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

Abbildung 4: Berechnung des 1h-Effektschätzers für O₃

$$\text{1h-Effektschätzer O}_3 = \frac{\text{8h-Effektschätzer O}_3}{\text{Transformationsfaktor}}$$

Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

Durch dieses Verfahren können die als relevant angesehenen Expositions-Endpunktpaare trotz fehlender zeitlicher Auflösung in den Primärstudien in einer vergleichbaren Weise für die Indexentwicklung genutzt werden. Dieser Ansatz wurde auch für den belgischen und niederländischen LQI verwendet (irCELine; Dusseldorp et al. 2014). In Sensitivitätsanalysen wurden weitere Transformationsfaktoren untersucht (99. Perzentil/24h-Mittelwert sowie weitere Perzentile), wobei dies wenig Einfluss auf die finalen Klasseneinteilungen des UBA LQI hatte.

3.2.2.8.2 Empirische Messdaten

Die Berechnung der Transformationsfaktoren erfolgte für alle Schadstoffe basierend auf den stündlichen Messdaten von 2019 und 2022. Für das Jahr 2019 lagen Daten von insgesamt 439 Messstationen vor, im Jahr 2022 von 433 Messstationen. Da nur wenige dieser Stationen alle fünf Stoffe messen, lagen für jeden Stoff unterschiedlich viele Zeitreihen vor (Tabelle 40).

Tabelle 28: Anzahl an Messstationen pro Stoff und Jahr

Schadstoff	Anzahl Messstationen 2019	Anzahl Messstationen 2022
NO ₂	411	409
O ₃	272	277

Schadstoff	Anzahl Messstationen 2019	Anzahl Messstationen 2022
SO ₂	115	108
PM _{2.5}	218	286
PM ₁₀	361	361

3.2.2.8.3 Berechnung Transformationsfaktor

Für NO₂, SO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} basiert die Berechnung des Transformationsfaktors auf Tagesmittelwerten, die entsprechend der 39. BImSchV (2020) berechnet wurden, wenn an einer Station an einem Tag mindestens 18 der 24 stündlichen Messwerte vorlagen. Anschließend wurde für jeden Tag der Quotient aus dem 1h-Tagesmaximum und dem 24h-Tagesmittelwert berechnet und über das jeweilige Jahr gemittelt, um den Transformationsfaktor für die oben genannten Schadstoffe (1h max./24h-Mittelwert) zu erhalten.

Für O₃ basiert die Berechnung des Transformationsfaktors auf dem maximalen gleitenden 8h-Mittelwert eines Tages. Folglich wurden aus den stündlichen Messdaten zunächst gleitende 8h-Mittelwerte gebildet, wobei entsprechend der 39. BImSchV (2020) mindestens sechs der acht Stunden vorhanden sein müssen. Der berechnete 8h-Mittelwert wurde dem Ende des Mittelungszeitraums zugeordnet (d.h. der Mittelwert um 10 Uhr bezieht sich auf den Zeitraum zwischen 2 und 10 Uhr). Wenn mindestens 18 der 24 gleitenden 8h-Mittelwerte vorlagen, wurde der maximale gleitende 8h-Mittelwert des Tages bestimmt. Anschließend wurde für jeden Tag der Quotient aus 1h-Tagesmaximum und maximalem gleitenden 8h-Mittelwert berechnet und abschließend über das jeweilige Jahr gemittelt, um den Transformationsfaktor für O₃ (1h max./8h max.) zu erhalten.

Für eine Sensitivitätsanalyse wurden zudem Transformationsfaktoren berechnet, welche statt auf dem Tagesmaximum auf dem 95. Perzentil (1h P95/24h), dem 90. Perzentil (1h P90/24h) und dem 70. Perzentil (1h P70/24h) der Stunden eines Tages basieren. Die über das jeweilige Jahr gemittelten Transformationsfaktoren sind in Tabelle 29 angegeben.

Tabelle 29: Transformationsfaktoren für Messwerte in Deutschland, 2019 und 2022, alle Stationstypen

Jahr	Schadstoff	Anzahl Stationen (Datenverfügbarkeit der Tageswerte)	1h max./24h bzw. 1h max./8h max. für O ₃	1h P95/24h bzw. 1h P95/8h max. für O ₃	1h P90/24h bzw. 1h P90/8h max. für O ₃	1h P70/24h bzw. 1h P70/8h max. für O ₃
2019	PM _{2.5}	218 (96 %)	1.86	1.65	1.51	1.16
	PM ₁₀	361 (98 %)	1.86	1.62	1.48	1.15
	O ₃	272 (98 %)	1.13	1.08	1.04	0.87
	NO ₂	411 (99 %)	1.97	1.73	1.57	1.17
	SO ₂	115 (91 %)	2.2	1.72	1.46	1.04
2022	PM _{2.5}	286 (97 %)	1.78	1.58	1.45	1.14
	PM ₁₀	361 (98 %)	1.79	1.56	1.44	1.14
	O ₃	277 (97 %)	1.12	1.07	1.04	0.88
	NO ₂	409 (98 %)	2.01	1.76	1.58	1.17
	SO ₂	108 (94 %)	2.05	1.63	1.4	1.04

In fett sind die für die weiteren Berechnungen genutzten Transformationsfaktoren gezeigt.

3.2.2.8.4 Transformation der Effektschätzer

Die auf den 24h-Mittelwerten basierenden Effektschätzer wurden nach Abbildung 3 durch den Transformationsfaktor (Tabelle 29) geteilt. Für O₃ wurde der auf den 8h-Mittelwerten basierende Effektschätzer durch den Transformationsfaktor von O₃ geteilt. Tabelle 30 zeigt die abgeleiteten 1h-Effektschätzer pro 10 µg/m³ des 1h-Maximalwerts als prozentuale Steigerung der Krankheitsfälle.

Mithilfe der 1h-Effektschätzer wurde die gesundheitliche Wirkung von Schadstoffen auf stündlicher Basis vergleichbar gemacht. Der 1h-Effektschätzer darf jedoch nicht als relatives Risiko für eine einstündige Expositionsperiode interpretiert werden, weil er sich nicht auf den biologischen Effekt einer einstündigen Expositionsperiode, sondern auf das einstündige Maximum einer 24h-Periode bezieht. Das bedeutet, dass ein Stundenwert als Maximalwert für einen ganzen Tag gewertet wird.

Tabelle 30: 1h-Effektschätzer (Prozent zusätzliche Fälle) pro 10 µg/m³ Konzentrationserhöhung

Schadstoff	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen in %	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen in %	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma in %	Zusätzliche Sterbefälle in %
PM _{2.5} (1h)	0.55	0.77	1.59	0.38
PM ₁₀ (1h)	0.38	0.88	0.55	0.22
O ₃ (1h)	Na ¹	0.18	0.27	0.36
NO ₂ (1h)	Na	0.90	0.70	0.35
SO ₂ (1h)	Na	Keine Daten	0.47	0.28

¹ Na - nicht anwendbar, weil die Evidenz für einen Zusammenhang nicht als mindestens wahrscheinlich kausal eingeschätzt wird.

3.2.2.8.5 Alternative Vorgehensweise

Alternativ zu diesem Vorgehen hätten Effektschätzer für gesundheitliche Wirkungen aus Studien zu vorgelagerten Endpunkten, wie z. B. Blutdruckanstieg, Anstieg von Entzündungsmarkern im Blut oder in der Lunge, Abnahme der Lungenfunktion, etc. genutzt werden können. Diese Endpunkte liegen in Panelstudien, mit denen sie üblicherweise untersucht werden, in aller Regel in größtmöglicher zeitlicher Auflösung von Minuten bis Stunden vor. Relative Wirkungen von einstündigen Belastungen könnten so als Basis für den UBA LQI genutzt werden. Dieser Ansatz wurde jedoch nicht gewählt, da diese Studien oft sehr stark selektierte Studienteilnehmende untersuchen (z. B. Vorerkrankte mit Asthma, Bluthochdruck oder ähnliches) und sie im Vergleich zu Zeitreihenanalysen sehr klein sind. Außerdem ist die Bedeutung einer gegebenenfalls akuten und transienten Veränderung dieser vorgelagerten Endpunkte für Krankenhausaufnahmen, Notfallaufnahmen und Sterblichkeit und damit auch für die Gesundheit der Bevölkerung nicht gesichert.

3.2.2.9 Schritt 5: Standardisierung der Schadstoffwirkungen auf PM_{2.5} als Referenzschadstoff

3.2.2.9.1 Konzept

Ein zentraler Bestandteil des risikobasierten Index ist die Berechnung von sogenannten Äquivalenzkoeffizienten, mit denen die gesundheitliche Wirkstärke der im Index enthaltenen Schadstoffkonzentrationen in jeder Indexklasse auf ein äquivalentes Niveau gebracht werden soll.

Als Referenzschadstoff wird PM_{2.5} gewählt, da für PM_{2.5} die meisten Studien vorliegen (WHO global air quality guidelines 2021), die PM_{2.5}-Effektschätzer für die gewählten Endpunkte die engsten Konfidenzintervalle haben, PM_{2.5} verglichen mit den anderen regulierten Schadstoffen in den meisten Studien pro Masseneinheit (z. B. µg/m³) die stärksten Gesundheitseffekte auslöst (WHO global air quality guidelines 2021) und in Europa die größte Krankheitslast verursacht (European Environment Agency 2024).

3.2.2.9.2 Äquivalenzkoeffizienten, Bedeutung und Berechnung

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die gesundheitlichen Wirkstärken der im Index enthaltenen Schadstoffe im Verhältnis zur Wirkung von PM_{2.5} zu ermitteln. Diese relative gesundheitliche Wirkstärke der Luftschadstoffe im Vergleich zu PM_{2.5} wird Äquivalenzkoeffizient genannt. Der Äquivalenzkoeffizient ist der Wert, mit dem die jeweilige Schadstoffkonzentration multipliziert

werden muss, um die gleiche Risikosteigerung pro Endpunkt wie bei Anstieg der PM_{2.5}-Konzentration um 10 µg/m³ zu erreichen.

Die Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff und pro Endpunkt können nach einem Standardverfahren ermittelt werden, indem der 1h-Effektschätzer für PM_{2.5} (Tabelle 30) durch den 1h-Effektschätzer des jeweils anderen Schadstoffs für den gleichen Endpunkt geteilt wird (Abbildung 5):

Abbildung 5: Berechnung des Äquivalenzkoeffizienten

$$\text{Äquivalenzkoeffizient} = \frac{\text{1h-Effektschätzer für PM}_{2.5}}{\text{1h-Effektschätzer für Luftschadstoff X}}$$

Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

Die Effektschätzer sind in Tabelle 30 gegeben. Die Äquivalenzkoeffizienten für die ausgewählten Expositions-Endpunktpaare werden als zentrale Punktschätzer (das heißt ohne Konfidenzintervalle) für den 1h-Effektschätzer in Tabelle 31 gezeigt.

Tabelle 31: Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff und Endpunkt pro 10 µg/m³ Konzentrationserhöhung

Schadstoff	Äquivalenzkoeffizienten			
	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	Zusätzliche Sterbefälle
PM _{2.5} (1h)	1.00	1.00	1.00	1.00
PM ₁₀ (1h)	1.43	0.88	2.91	1.75
O ₃ (1h)	-	4.33	5.98	1.08
NO ₂ (1h)	-	0.96	2.26	1.09
SO ₂ (1h)	-	-	3.39	1.36

3.2.2.9.3 Zusammenfassung der Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff

Die Anwendung der Gleichung aus Abbildung 5 auf alle Schadstoffe ergibt einen Äquivalenzkoeffizienten pro Expositions-Endpunktpaar (Tabelle 31). Das heißt, es gibt zwischen vier (für PM₁₀) und zwei (SO₂) Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff, je nachdem wie viele Endpunkte pro Schadstoff in Schritt 1 ausgewählt wurden. Für die Anwendung auf den Index wird jedoch ein Äquivalenzkoeffizient pro Schadstoff benötigt.

Darüber hinaus geben die Äquivalenzkoeffizienten, die auf den Punktschätzungen der Effektstärken beruhen (die also von den zentralen Effektschätzern ohne Berücksichtigung der Konfidenzintervalle abgeleitet sind), nicht den Grad der Unsicherheit der relativen gesundheitlichen Effekte wieder. Diese zentralen Werte für die Äquivalenzkoeffizienten sind sensibel für kleine Änderungen in den originalen Effektschätzungen der epidemiologischen Studien. Jede neue Publikation oder Änderung in der Literaturlage im Bereich der

Luftqualitätswirkungsforschung könnte zu (wahrscheinlich geringen) Änderungen der zentralen Äquivalenzkoeffizienten führen.

Bei den Punktschätzungen handelt es sich um eine Pseudogenauigkeit, denn die tatsächlichen (relativen) gesundheitlichen Effekte liegen in einem breiten Bereich und lassen sich nicht durch einen einzigen zentralen Wert angemessen charakterisieren. Die Äquivalenzkoeffizienten sollen stattdessen einen durchschnittlichen Vergleich der gesundheitlichen Wirkstärken der verschiedenen Schadstoffe ermöglichen, wobei der Grad der Unsicherheit hierbei transparent dargelegt werden soll.

Um einen robusten Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff abzuleiten und dabei die statistische Unsicherheit zu berücksichtigen und darzulegen, wurde eine Simulation unter Nutzung der Konfidenzintervalle der originalen epidemiologischen 24h-Effektschätzer durchgeführt. Dieses Verfahren hilft dabei, einen Eindruck von einer realen Verteilung um diese Punktschätzer herum zu erlangen und dient der Zusammenfassung der Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff. Außerdem wird die inhärente Unsicherheit in der statistischen Schätzung der epidemiologischen Effektstärken berücksichtigt und dargestellt.

Darüber hinaus wurden Gewichtungstechniken auf ihre Eignung untersucht, einen Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff zu berechnen. Diese alternative Methode wird im Anhang A erläutert. Sie hat Vorteile für die Beurteilung einer Relevanz eines gesundheitlichen Endpunktes in der Bevölkerung, liefert aber keine individuelle Bewertungsmöglichkeit und wird daher für die Ableitung der Äquivalenzkoeffizienten in dieser Methode nicht weiterverwendet.

Methode der Simulation

Zur Abschätzung der Variabilität bzw. des Unsicherheitsbereiches der einzelnen Äquivalenzkoeffizienten und zur Darstellung des Gesamtbereiches, den die Äquivalenzkoeffizienten annehmen können, wurde eine Zufallszahlen-Simulation durchgeführt. Unter der Annahme einer Normalverteilung für die 24h- und 8h-Effektschätzer wurden die Verteilungsparameter (Mittelwert und Standardabweichung) der 24h- und 8h-Effektschätzer basierend auf den Punktschätzern und den Konfidenzintervallen für jedes Expositions-Endpunktpaar berechnet (Tabelle 32) und 10000 Simulationen pro Expositions-Endpunktpaar unter Verwendung dieser Verteilungen durchgeführt. Als Ergebnis wurden 10000 normalverteilte Zufallswerte für jedes Expositions-Endpunktpaar erzeugt. Anschließend wurden diese zufälligen 24h- und 8h-Effektschätzungen auf der Grundlage der oben beschriebenen Transformationsfaktoren in 1-Stunden-Effektschätzungen umgewandelt. In einem nächsten Schritt wurden Äquivalenzkoeffizienten für jeden Zufallswert berechnet. Hierfür wurde jeweils ein zufällig gezogener Wert aus der Verteilung des 1h-Effektschätzers für PM_{2.5} durch einen zufällig gezogenen Wert aus der Verteilung des 1h-Effektschätzers des jeweils anderen Schadstoffs geteilt. Als Ergebnis erhielten wir 10000 Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff pro Endpunkt.

Durch die Kombination der Verteilungen aus den Simulationen für alle ausgewählten Endpunkte eines Schadstoffs konnte eine integrierte Verteilung von Äquivalenzkoeffizienten für jeden Schadstoff erstellt werden. Diese Verteilung zeigt die Streuung der relativen gesundheitlichen Wirkstärken eines Schadstoffs, dargestellt durch Äquivalenzkoeffizienten, im Vergleich zu PM_{2.5}. Die zentralen Lagemaße der Verteilung (Mittelwert, Median, Modalwert) lassen darauf schließen, welche Äquivalenzkoeffizienten am besten mit der gegenwärtigen Evidenzlage zu vereinbaren sind. Wenn nicht anders begründet, wurde der Modalwert als Äquivalenzkoeffizient für die weitere Entwicklung des UBA LQI gewählt. Bei NO₂ und O₃ wurden pragmatische Entscheidungen getroffen, die im Verlauf dieses Berichts erläutert werden.

Tabelle 32: Punktschätzung und 95%-Konfidenzintervalle der Relativen Risiken als zusätzliche Fälle in Prozent bei kurzfristiger Schadstoffbelastung (24h- oder 8h-Mittelwerte) pro 10 µg/m³ Konzentrationserhöhung und die Kennwerte der Verteilungen in der Simulation

Schadstoff	Endpunkt	Relative Risiken (CI 95%)	Mittelwert und Standardabweichung in Simulationen
PM _{2.5}	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen	1 (0.6; 1.4)	1 (0.2)
PM _{2.5}	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	1.4 (1.0; 1.7)	1.4 (0.18)
PM _{2.5}	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	2.9 (1.7; 4.1)	2.9 (0.61)
PM ₁₀	Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen	0.7 (0.2; 1.1)	0.69 (0.24)
PM ₁₀	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	1.6 (0.0; 3.1)	1.6 (0.79)
PM ₁₀	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	1 (0.8; 1.3)	1 (0.13)
O ₃	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	0.2 (-0.2; 0.5)	0.2 (0.18)
O ₃	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	0.3 (-0.7; 1.5)	0.3 (0.56)
NO ₂	Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen	1.8 (1.1; 2.5)	1.8 (0.33)
NO ₂	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	1.4 (0.8; 2)	1.4 (0.31)
SO ₂	Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma	1 (0.1; 2)	1 (0.48)
PM _{2.5}	Zusätzliche Sterbefälle	0.7 (0.4; 0.9)	0.7 (0.13)
PM ₁₀	Zusätzliche Sterbefälle	0.4 (0.3; 0.5)	0.4 (0.05)
O ₃	Zusätzliche Sterbefälle	0.4 (0.3; 0.5)	0.4 (0.05)

Schadstoff	Endpunkt	Relative Risiken (CI 95%)	Mittelwert und Standardabweichung in Simulationen
NO ₂	Zusätzliche Sterbefälle	0.7 (0.6; 0.9)	0.7 (0.08)
SO ₂	Zusätzliche Sterbefälle	0.6 (0.5; 0.7)	0.6 (0.05)

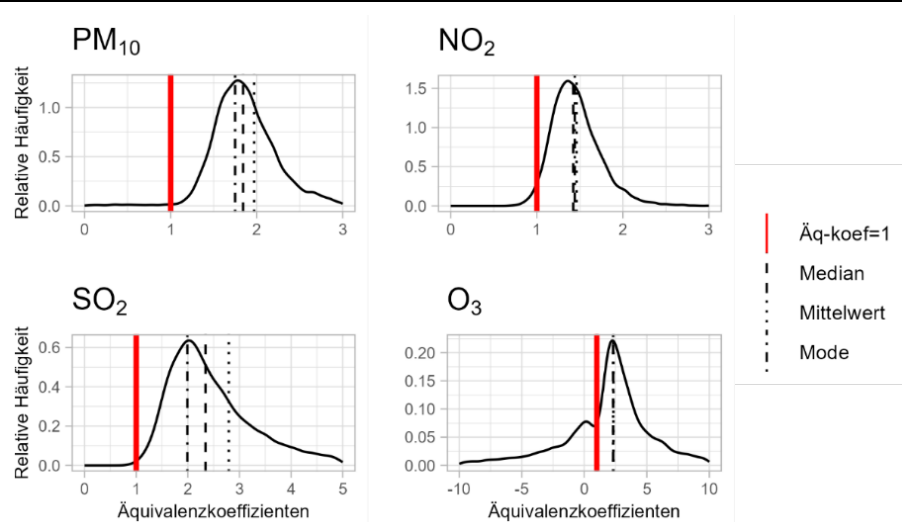
3.2.2.9.4 Ergebnisse der Simulation

Tabelle 33 zeigt Mittelwerte, Mediane, Modalwerte und die Unsicherheit in Form von 95%-Unsicherheitsbereichen der Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff. Es wird der Begriff „Unsicherheitsbereiche“ anstelle von „Konfidenzintervallen“ verwendet, da die Ergebnisse auf einer Simulation beruhen und nicht die Effektschätzungen aus den epidemiologischen Primärstudien darstellen. Die Verteilungen sind in Abbildung 6 grafisch dargestellt.

Tabelle 33: Statistische Kenngrößen der simulierten Äquivalenzkoeffizienten (n = 10000).

Schadstoff	Mittelwert	Median	Modalwert	95 %-Unsicherheitsbereich	Angepasste Äquivalenzkoeffizienten
NO ₂	1.46	1.42	1.44	[1.01; 2.12]	2.00
O ₃	1.00	2.33	2.31	[-27.18; 30.43]	4.80
PM ₁₀	1.97	1.84	1.75	[1.19; 3.42]	1.80
SO ₂	2.79	2.34	1.99	[1.15; 10.15]	2.00

Abbildung 6: Verteilung der simulierten Äquivalenzkoeffizienten (n = 10000).



Quelle: Eigene Darstellung, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, AG Umweltepidemiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf

3.2.2.9.5 Plausibilitätsprüfung und finale Festlegung der Äquivalenzkoeffizienten durch Expertinnen und Experten

Bei der finalen Festlegung der im Index genutzten Äquivalenzkoeffizienten wurde neben diesen datenbasierten Berechnungen (Simulation und Darstellung der zentralen Lagemaße) auch

Fachwissen von Expertinnen und Experten im Bereich der Umweltepidemiologie sowie vom Projektteam und von Expertinnen und Experten im Umweltbundesamt angewandt, um weitere Aspekte der epidemiologischen Datenbasis zu berücksichtigen.

Für PM₁₀ beträgt der Modalwert der erhaltenen Verteilungen der Äquivalenzkoeffizienten 1.75 bei einem Unsicherheitsbereich von 1.19 bis 3.42. Der Modalwert von 1.75 entspricht ungefähr dem einfachen Mittelwert der Äquivalenzkoeffizienten aus allen untersuchten Endpunkten (Tabelle 33). Darüber hinaus entspricht er ungefähr dem Massenverhältnis von PM_{2.5} und PM₁₀ und dem Verhältnis der Effektschätzer aus den originalen epidemiologischen Studien und ist somit bezogen auf vergleichbare Feinstaub Eigenschaften zwischen diesen Größenklassen plausibel. Es wurde daher ein Äquivalenzkoeffizient von 1.8 festgelegt (auf die erste Dezimalstelle gerundet).

Für SO₂ beträgt der Modalwert der erhaltenen Verteilungen der Äquivalenzkoeffizienten 1.99 bei einer rechtsschiefen Verteilung und einem Unsicherheitsbereich von 1.15 bis 10.15. Der Modalwert von 1.99 entspricht ungefähr dem einfachen Mittelwert der Äquivalenzkoeffizienten (Tabelle 33) und dem Verhältnis der Effektschätzer aus den epidemiologischen Studien. Er ist somit plausibel und es wurde ein Äquivalenzkoeffizient von 2.0 festgelegt.

Für NO₂ lagen Modalwert, Mittelwert und Median bei 1.4 mit einem Unsicherheitsbereich von 1.01 bis 2.12. Diese Verteilung der Äquivalenzkoeffizienten berücksichtigt nicht, dass NO₂ und PM_{2.5} in den epidemiologischen Studien häufig aus den gleichen Quellen stammen und daher korreliert sind. Dies kann zu einer Vermischung der Effekte führen (sogenanntes Confounding). In Folge des Confounding ist nicht klar, welchem Schadstoff der Effekt zuzuschreiben ist. In Studien, die dieses Confounding durch statistische Maßnahmen berücksichtigen können (z. B. durch Adjustierung), zeigt sich, dass die Effekte von NO₂ häufig überschätzt werden. In vielen Originalstudien zu NO₂ sind die Effektschätzer für NO₂ nicht für PM_{2.5} oder PM₁₀ adjustiert, wodurch eine Verzerrung der geschätzten relativen Risiken nach oben möglich ist. Die EEA und Public Health England gehen in ihren Bewertungen der Wirkstärke von NO₂ bei Langzeiteffekten üblicherweise von einer Überschätzung um ca. 30 % aus und informieren darüber, dass die Effektschätzer für NO₂ entsprechend nach unten korrigiert werden sollen (European Environment Agency; Committee on the Medical Effects of Air Pollution 2014). Was die kurzfristige Wirkung betrifft, so wurde in einigen Studien auch gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen NO₂ und Sterblichkeit durch andere Schadstoffe erheblich beeinträchtigt werden kann und dass die Bereinigung um die Wirkung dieser Stoffe die geschätzte Wirkung verringert, je nach Schadstoff um bis zu 50 % (Samoli et al. 2006; Ma et al. 2024). Aus diesem Grund wurde der Äquivalenzkoeffizient ebenfalls um einen Faktor von ca. 30 % korrigiert und auf einen Wert von 2.0 festgelegt. Dies entspricht dem Verhältnis der WHO AQG 2021 für Langzeitwerte von NO₂ (10 µg/m³) und PM_{2.5} (5 µg/m³). Das Verhältnis der 24h-Mittelwerte für NO₂ (25 µg/m³) und PM_{2.5} (15 µg/m³) beträgt 1.7 und ist somit ähnlich.

Der Modalwert für O₃ beträgt 2.31 mit einem Unsicherheitsbereich von -27.18 bis 30.43. Dieser große Unsicherheitsbereich ist in erster Linie auf die geringe Effektgröße und das breite Konfidenzintervall der Effektschätzer von O₃ zurückzuführen. Das breite Konfidenzintervall resultiert aus der kleinen Anzahl von vorhandenen epidemiologischen Studien, die in Regionen mit gemäßigttem Klima durchgeführt wurden, und auf der Heterogenität der Effektschätzer für Sterblichkeit und Morbidität. Es wurde daher entschieden, die Morbiditätspunkte gegenüber der Sterblichkeit bei der Festlegung des Äquivalenzkoeffizienten zu priorisieren. Die Punktschätzer für die Äquivalenzkoeffizienten betrugen 6.18 für Krankenhausaufnahmen für alle respiratorischen Erkrankungen und 5.98 für die Untergruppe der Asthmaerkrankungen. Der Äquivalenzkoeffizient wurde daher auf 4.8 gesetzt, um damit gleichzeitig den höchsten

Indexschwellenwert für O₃ an den Alarmwert der EU-Luftqualitätsrichtlinie (Europäische Kommission 2022) anzupassen.

Erwähnenswert ist, dass die unteren Intervallgrenzen des simulierten Äquivalenzkoeffizienten bei O₃ negativ ausfallen, was durch die teilweise negativen unteren Klassengrenzen der ursprünglichen Konfidenzintervalle für O₃ in den durchgeführten Metaanalysen begründet ist. Da für die Festlegung des relativen Risikos für O₃ nur Studien aus Regionen mit gemäßigttem Klima herangezogen wurden, sind die Konfidenzintervalle der Metaanalysen deutlich größer als in den ursprünglichen Übersichtsarbeiten, die alle Studien enthalten. Es wird also in der hier vorliegenden Analyse eine geringere Präzision für das relative Risiko von O₃ dargestellt als tatsächlich in der Gesamtliteratur zu finden ist. Für eine Anwendung der hier genutzten Methodik im europäischen Raum wäre es sinnvoll, die Berechnungen für den O₃-Äquivalenzkoeffizienten mit allen Studien durchzuführen, um auch Studien aus dem Mittelmeerraum zu berücksichtigen. Hierdurch würde auch die Präzision der Schätzung des Äquivalenzkoeffizienten ansteigen.

3.2.2.9.6 Sensitivitätsanalysen

In posthoc Sensitivitätsanalysen wurde berechnet, mit welchen Äquivalenzkoeffizienten sich die Alarm- und Informationsschwellen, die im Trilog-Kompromiss der Luftqualitätsrichtlinie festgelegt wurden, abbilden lassen. Die Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben. Diese posthoc ermittelten Äquivalenzkoeffizienten könnten bei einer eventuell gewünschten Indexanpassung an neue Informations- und Alarmschwellen verwendet werden.

Weitere Sensitivitätsanalysen beinhalteten eine Variation der Berechnung des Transformationsfaktors für die Umrechnung von 24h-Mittelwerten auf 1h-Mittelwerte (unterschiedliche Zeiträume, unterschiedliche Indikatoren (95 %, 90 %, 70 %)), die Aufnahme zusätzlicher gesundheitlicher Endpunkte bzw. Restriktion auf eine kleinere Zahl an Gesundheitsendpunkten für die Ableitung der Äquivalenzkoeffizienten, die Aktualisierung der Datenbasis mit Ergebnissen aus neuen Übersichtsarbeiten, die während der Projektlaufzeit veröffentlicht wurden, die Nutzung unterschiedlicher Schwellen für die oberste Klassengrenze und die Nutzung unterschiedlicher verzögerter Expositionsperioden (sogenannte „lags“) in den Primärstudien. Insgesamt zeigte sich eine hohe Robustheit der Äquivalenzkoeffizienten bei Variation der Eingangsvariablen.

3.2.2.9.7 Anpassung von Äquivalenzkoeffizienten an Alarm- und Informationsschwellen

In Anlehnung an die von der EU vorgeschlagenen Informations- und Alarmschwellen wurden die jeweiligen Äquivalenzkoeffizienten berechnet, mit denen der Schwellenwert zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ entweder auf der Informationsschwelle oder auf der Alarmschwelle liegt. Die Informations- und Alarmschwellen stammen aus dem Trilog-Kompromiss über eine Richtlinie des EU-Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa (EU-Parlament 2024). Es ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Mittelungszeiten für den Index nicht berücksichtigt wurden. Die Informations- und Alarmschwellen sowie dafür berechnete Äquivalenzkoeffizienten sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Informations- und Alarmschwellen aus dem Trilog-Kompromiss und angepasste Äquivalenzkoeffizienten (EU-Parlament 2024)

Schadstoff	Genutzter Äquivalenzkoeffizient	Informationsschwelle, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	Äquivalenzkoeffizient mit dem die Klassengrenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ der Informationsschwelle entspricht	Alarmschwelle, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **	Äquivalenzkoeffizient, mit dem die Klassengrenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ der Alarmschwelle entspricht
PM _{2.5}	1	50	1	50	1
PM ₁₀	1.80	90	1.80	90	1.80
O ₃	4.80	180	3.60	240	4.80
NO ₂	2.00	150	3.00	200	4.00
SO ₂	2.00	275	5.50	350	7.00

* Die Daten, die anhand der Informationsschwellen beurteilt werden, werden für SO₂, NO₂ und O₃ über einen Zeitraum von einer Stunde und für PM₁₀ und PM_{2.5} über einen Zeitraum von einem Tag an Orten gemessen, die für die Luftqualität auf einer Fläche von mindestens 100 km² oder einer ganzen Zone repräsentativ sind, je nachdem, welcher Wert kleiner ist.

** Die Daten, die anhand der Alarmschwellen beurteilt werden, werden für SO₂, NO₂ und O₃ als Stundenmittelwert über drei aufeinander folgende Stunden, und für PM₁₀ und PM_{2.5} als Tagesmittelwert über drei aufeinander folgende Tage an Orten gemessen, die für die Luftqualität auf einer Fläche von mindestens 100 km² oder einer ganzen Zone repräsentativ sind, je nachdem, welcher Wert kleiner ist.

3.2.2.10 Schritt 6: Festlegung der Klassengrenzen des LQI für PM_{2.5}

3.2.2.10.1 Begründung für die vorgeschlagenen fünf Klassen des LQI

Bei linearen Expositions-Wirkungsbeziehungen, wie sie bei den hier betrachteten Luftschadstoffen und den in Deutschland vorkommenden Luftschadstoffkonzentrationen näherungsweise vorliegen, lassen sich kaum evidenzbasierte Klassengrenzen ableiten. Jede Konzentrationserhöhung führt zu einer Risikosteigerung und es gibt keine biologisch begründbaren Schwellenwerte, die eine deutliche Änderung des Risikos anzeigen. Jede Klassengrenze unterliegt daher der Kritik, dass sie zu einem gewissen Maß als willkürlich gelten kann. Um die Bestimmung der Klassengrenzen dennoch auf wissenschaftlich abgeleiteten und nachvollziehbaren Daten zu basieren, wurde entschieden, als Startpunkt den Jahresrichtwert für PM_{2.5} der WHO AQG 2021 sowie die Informations- und Alarmschwellen des EK Entwurfs 2022 zu nutzen. Das heißt, es handelt sich hierbei um eine normative Festlegung von Klassengrenzen. PM_{2.5} wurde als führender Schadstoff behandelt, da für PM_{2.5} die meiste Evidenz zu den gesundheitlichen Effekten vorhanden ist.

3.2.2.10.1.1 Klassengrenze sehr gut - gut

Für die Grenze zwischen „sehr gut“ und „gut“ wird der Richtwert nach den WHO AQG 2021 für den Jahresmittelwert von PM_{2.5} (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) genutzt. Das Konzept hierfür ist, dass bei Einhaltung dieses Wertes auch das Risiko für die Entwicklung von chronischen Gesundheitseffekten sehr klein ist.

3.2.2.10.1.2 Klassengrenze gut - mäßig

Für die Grenze zwischen „gut“ und „mäßig“ wird der Richtwert nach den WHO AQG 2021 für den Tagesmittelwert von PM_{2.5} (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) genutzt. Die Begründung hierfür ist, dass entsprechend

den Empfehlungen der WHO bei Einhaltung dieses Wertes das Risiko für Kurzzeiteffekte auf die Gesundheit gering ist.

3.2.2.10.1.3 Klassengrenze mäßig – schlecht

Als obere Grenze der Kategorie „mäßig“ zur Kategorie „schlecht“ wird der WHO AQG 2021 Richtwert für den Tagesmittelwert für PM_{2.5} von 15 µg/m³ in einen Stundenwert transformiert. Hierzu wird der Transformationsfaktor von 2, berechnet in Schritt 4, genutzt. Der errechnete 1h-Tagesmaximalwert beträgt 30 µg/m³ (15 µg/m³ x 2). Zwischen Tagesmittelwerten von 15 und 30 µg/m³ PM_{2.5} ist, entsprechend der Richtwert-Definition, das Risiko für schwerwiegende gesundheitliche Auswirkungen erhöht (WHO AQG 2021), was eine Einstufung als „mäßig“ begründet.

3.2.2.10.1.4 Klassengrenze schlecht – sehr schlecht

Für die Grenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ wird die sogenannte Informationsschwelle des EK Entwurfs 2022 und des Trilog-Kompromiss für den Tagesmittelwert von PM_{2.5} (50 µg/m³) eingesetzt (Europäische Kommission 2022; EU-Parlament 2024). Dieser Wert der Informationsschwelle wurde für den Index unverändert übernommen und nicht in einen Stundenwert umgerechnet. Auch wird die unterschiedliche Mittelungszeit für PM_{2.5} hier nicht berücksichtigt.

Eine Alternative zur Nutzung von gesetzlichen Alarm- oder Informationsschwellen könnte die Nutzung der Zwischenziele der WHO AQG 2021 sein. Sie sind jedoch ebenso wie gesetzliche Grenzwerte nicht gesundheitsbasiert. Die Zwischenziele der WHO AQG 2021 sind lediglich Hilfen, die Länder mit deutlich höheren Luftschadstoffbelastungen bei der Formulierung von Luftreinhaltungsprogrammen Orientierung geben sollen.

3.2.2.11 Schritt 7: Anwendung der Klassengrenzen von PM_{2.5} auf die anderen Schadstoffe

Nach Festlegung der Klassengrenzen für PM_{2.5} wurden mithilfe der Äquivalenzkoeffizienten die Klassengrenzen für die anderen Schadstoffe bestimmt (Tabelle 35). Hierzu wurden die PM_{2.5}-Klassengrenzen mit den Äquivalenzkoeffizienten für die jeweiligen Schadstoffe multipliziert. Ziel dieses Vorgehens ist es, Schadstoffklassen abzuleiten, bei denen die Risikoerhöhungen der einzelnen Schadstoffe im Durchschnitt und über viele gesundheitliche Endpunkte hinweg mit der Risikoerhöhung von PM_{2.5} in dieser Klasse vergleichbar sind.

Tabelle 35: Risikobasierter UBA LQI, inklusive der Klassengrenzen und Äquivalenzkoeffizienten

Index	Stundenmittelwerte in µg/m ³									
	NO ₂		PM ₁₀		PM _{2.5}		O ₃		SO ₂	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Sehr schlecht	101		91		51		241		101	
Schlecht	61	100	55	90	31	50	145	240	61	100
Mäßig	31	60	28	54	16	30	73	144	31	60
Gut	11	30	10	27	6	15	25	72	11	30
Sehr gut	0	10	0	9	0	5	0	24	0	10
Äquivalenz Koeffizient	2.00		1.80		1.00		4.80		2.00	

3.2.3 Interaktionsmodul

Luftschadstoffe wirken üblicherweise nicht isoliert auf die menschliche Gesundheit, sondern liegen in Form unterschiedlicher Schadstoffgemische als Mehrfachbelastungen vor. Damit kann es zu einer Addition, einer überadditiven (synergistischen) oder sogar zu einer abschwächenden Wechselwirkung kommen (Mauderly und Samet 2009; Li et al. 2023). In einem Index können diese Wechselwirkungen bei Mehrfachbelastungen in unterschiedlicher Weise berücksichtigt werden.

In einer für die Entwicklung des UBA LQI durchgeführten Literaturrecherche zu Wechselwirkungen (Interaktionen) fanden sich einzelne Originalarbeiten, jedoch keine Übersichtsarbeiten zu Wechselwirkungen für die hier berücksichtigten Expositions-Endpunktpaare. So wurden beispielsweise in einer Originalarbeit, in der die Wechselwirkung von PM_{2.5} und O₃ auf Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegserkrankungen untersucht wurde, Hinweise auf einen synergistischen, überadditiven Effekt gefunden (Li et al. 2023). Eine nicht-systematische Übersichtsarbeit (Mauderly und Samet 2009) bestätigte ferner die Existenz von synergistischen Effekten von Luftschadstoffen bei der Auslösung messbarer biologischer Reaktionen, wie in Laborstudien an Menschen und Tieren nachgewiesen wurde.

Trotz des Fehlens von exakten, quantitativen Schätzern für die Wechselwirkungen und die damit verbundenen Risikosteigerungen ist es sinnvoll, die Mehrfachbelastungen im Sinne eines präventiven Gesundheitsschutzes zu berücksichtigen. Bisher wird im UBA LQI diese Risikosteigerung lediglich qualitativ in der UBA App oder dem Internetauftritt des UBA vermittelt, z. B. durch folgenden Text in den Verhaltensempfehlungen: „In Kombination mit weiteren Luftschadstoffen können auch weniger empfindliche Menschen auf die Luftbelastung reagieren, wenn mehrere Schadstoffe erhöht sind“.

Um die Wechselwirkungen im Index besser abzubilden und vor allem ihre Berücksichtigung nicht den Nutzenden zu überlassen, wurde daher in Anlehnung an die Methodik des niederländischen LQI (Dusseldorp et al. 2014) ein Interaktionsmodul entwickelt, welches optional hinzugefügt werden kann. In diesem Interaktionsmodul wird eine zusätzliche Risikosteigerung qualitativ berücksichtigt, wenn mindestens zwei Schadstoffe in Kategorien eingruppiert sind, die mit einem erhöhten Gesundheitsrisiko verbunden sind. Als Kategorien mit erhöhtem Gesundheitsrisiko werden die Kategorien ab „mäßig“ angesehen.

Das hier entwickelte Interaktionsmodul berücksichtigt Wechselwirkungen qualitativ anhand spezifischer Regeln zur Bestimmung des Gesamtindex, indem die Konzentrationen von verschiedenen Luftschadstoffen berücksichtigt werden. Die folgenden Regeln werden angewendet:

- ▶ Wenn die höchste Kategorie unter allen Schadstoffen „mäßig“ ist und gleichzeitig zwei Schadstoffe in der Kategorie „mäßig“ eingestuft sind, wobei beide Konzentrationen in den oberen 50 % dieser Kategorie liegen, wird der Gesamtindex in die Kategorie „schlecht“ verschoben.
- ▶ Wenn die höchste Kategorie unter allen Schadstoffen „schlecht“ ist und gleichzeitig zwei Schadstoffe in der Kategorie „schlecht“ eingestuft sind, wobei beide Konzentrationen in den oberen 50 % dieser Kategorie liegen, wird der Gesamtindex in die Kategorie „sehr schlecht“ verschoben.

Die genannten Kombinationen von Luftschadstoffen, die für diese Bewertung relevant sind, umfassen

- ▶ PM_{2.5} oder PM₁₀ und NO₂,

- ▶ PM2.5 oder PM10 und O3,
- ▶ PM2.5 oder PM10 und SO2,
- ▶ O3 und NO2,
- ▶ NO2 und SO2 sowie
- ▶ O3 und SO2.

Diese Regeln ermöglichen eine Berücksichtigung von Mehrfachbelastungen und ihrer synergistischen gesundheitlichen Wirkungen. Durch diese Berücksichtigung von mehreren Schadstoffen wird eine umfassendere Bewertung der gesundheitlichen Bedeutung von erhöhten Schadstoffkonzentrationen erreicht.

Einige Beispiele sind in den nachstehenden Tabellen aufgeführt. In Tabelle 36 wird der Gesamtindex als „schlecht“ definiert, auch wenn alle Schadstoffe in die Kategorien „sehr gut“ und „gut“ und nur einer (NO₂) in die Kategorie „schlecht“ fallen. In Tabelle 37 ist der höchste Wert eines einzelnen Schadstoffs „mäßig“ und durch NO₂ und PM_{2.5} definiert. Während die PM_{2.5}-Konzentration in der oberen Hälfte der Kategorie „mäßig“ liegt, ist die NO₂-Konzentration in der unteren Hälfte dieser Kategorie, weshalb der Wert des Gesamtindex nicht angehoben wird. Eine andere Situation ist in Tabelle 38 dargestellt. Sowohl PM_{2.5} als auch NO₂ liegen in der oberen Hälfte der Kategorie „mäßig“, weshalb der allgemeine Index in die Kategorie „schlecht“ hochgestuft wird.

Tabelle 36: Beispiel Eins für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.

Schadstoff	Kategorie	Gesamtindex
NO ₂	Schlecht	Schlecht
PM ₁₀	Gut	
PM _{2.5}	Gut	
O ₃	Gut	
SO ₂	Sehr gut	

Tabelle 37: Beispiel Zwei für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.

Schadstoff	Kategorie	Gesamtindex
NO ₂	Mäßig (>50 %)	Mäßig
PM ₁₀	Gut	
PM _{2.5}	Mäßig (<50 %)	
O ₃	Gut	
SO ₂	Sehr gut	

Tabelle 38: Beispiel Drei für die Anwendung des Algorithmus des Interaktionsmoduls.

Schadstoff	Kategorie	Gesamtindex
NO ₂	Mäßig (>50 %)	Schlecht
PM ₁₀	Gut	
PM _{2.5}	Mäßig (>50 %)	
O ₃	Gut	
SO ₂	Sehr gut	

3.2.4 Ableitung von Gesundheitsempfehlungen

Auf Basis der aktualisierten Klassengrenzen und daraus folgenden Bewertungsklassen des UBA LQI wurden gesundheitsbezogene Verhaltensempfehlungen und Begründungen für diese Verhaltensempfehlungen entwickelt. Die Verhaltensempfehlungen sind differenziert nach Vulnerabilität für die Wirkung von Luftschadstoffen (Allgemeinbevölkerung, vulnerable Gruppen wie Vorerkrankte, alte oder sehr junge Menschen, Schwangere). Da die Bewertungsklassen für die einzelnen Schadstoffe vergleichbare Risikoerhöhungen für kurzfristige Gesundheitsendpunkte darstellen, konnte auf eine schadstoffspezifische Formulierung von Verhaltensempfehlungen verzichtet werden. Aufgrund des vorgesehenen Einsatzes des Index zur kurzfristigen Verhaltensanpassung stehen bei den Verhaltensempfehlungen die kurzfristigen Wirkungen im Vordergrund, wobei auch langfristige Wirkungen thematisiert werden. Es wird darüber hinaus der räumliche Bezug der Schadstoffmessungen und Konzentrationen thematisiert. Für die erfolgreiche Kommunikation werden weiterhin die Aspekte Verständlichkeit der Sprache, Kürze und Prägnanz der Formulierungen, Klarheit/Eindeutigkeit sowie Umsetzbarkeit/Relevanz der Empfehlungen berücksichtigt.

Die Strategie zur Ableitung von Verhaltensempfehlungen basierte auf folgender Ausgangslage:

- Die Bewertung sollte auf der Basis der aktuellen stündlichen Daten erfolgen, um kurzfristige Verhaltensänderungen zur Prävention von kurzfristigen nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen zu erzielen.
- Von kurzfristigen Belastungen durch Luftschadstoffe sind vor allem besonders empfindliche Gruppen (Vorerkrankte, alte oder sehr junge Menschen, Schwangere) betroffen – so zeigten kurzfristige Inhalationsstudien z. B. gegenüber NO₂ bei Menschen mit leichtem Asthma bei Zunahme der Schadstoffkonzentrationen, wie sie am Straßenrand von stark befahrenen Straßen zu finden sind, eine messbare Abnahme der forcierten Lungenvolumina (US EPA 2024a, S. 5-253 - 5-257), während bei gesunden Erwachsenen keine konsistenten Effekte nachgewiesen werden konnten (US EPA 2024b, S. 5-89 - 5-92; Kapitel 5.1.7.2).
- Die meisten Indizes, die Gesundheitsempfehlungen enthalten, adressieren den Grad der körperlichen Aktivität. Körperliche Aktivität ist einer der wichtigsten und stärksten individuellen Schutzfaktoren für Gesundheit (Barrera et al. 2023; World Health Organization 2018; Nazelle et al. 2011). Dies bezieht sich auf nahezu alle vorgelagerten Endpunkte und Risikofaktoren für chronische Erkrankungen, sowie auf manifeste klinische Endpunkte wie kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes, Demenz, etc. (Castro et al. 2023). Auf der anderen Seite nimmt in unserer zunehmend sitzenden Gesellschaft die Förderung der körperlichen

Aktivität durch verhältnis- und verhaltensbezogene Maßnahmen eine immer wichtigere Rolle ein. Bei der Entwicklung der Gesundheitsempfehlungen des UBA LQI wurde deshalb darauf geachtet, dass die Bevölkerung nicht generell entmutigt wird, im Freien körperlich aktiv zu sein.

- Aktive Mobilität (Gehen, Radfahren, Nutzung von ÖPNV) ist eines der wichtigsten Elemente der Verkehrs- und Klimawende und kann erheblich zur Verbesserung der Luftqualität in den Städten beitragen (Brand et al. 2021). Die Bevölkerung kann daher durch ihr Verhalten zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Das Wissen hierüber soll durch die Formulierung von Hinweisen zu einem emissionsarmen Verhalten gestärkt werden.

Aufbauend auf diesen Rahmenbedingungen wurden sowohl allgemeine Hinweise zur Risikoerhöhung als auch gesundheitsbezogene Verhaltenshinweise gegeben. Die allgemeinen Hinweise enthalten Aussagen über die Luftqualität, die Risikoerhöhungen und die betroffenen Bevölkerungsgruppen. Für die gesundheitsbezogenen Verhaltenshinweise wurde eine Unterteilung der Empfehlungen für besonders empfindliche Gruppen und für die Allgemeinbevölkerung vorgenommen. Die gesundheitsbezogenen Verhaltenshinweise wurden so schematisiert, dass für besonders empfindliche Gruppen Empfehlungen zur Beobachtung von Symptomen und zur Verlagerung bis hin zur Reduktion von körperlicher Aktivität jeweils in einer niedrigeren Bewertungsklasse gegeben werden als für die Allgemeinbevölkerung. Die sonstigen Verhaltenshinweise geben allgemeine Ratschläge zur Vermeidung oder Reduktion von Emissionen, die sich vor allem auf den Verkehr, auf das Heizen und auf die Nutzung von Verbrennungsmotoren außerhalb des Verkehrssektors beziehen.

Die Vorschläge zu Verhaltenshinweisen für den risikobasierten LQI finden sich in Tabelle 39.

Tabelle 39: Vorschlag zu Verhaltenshinweisen für den risikobasierten LQI

Index	Risiko	Gesundheitsverhalten		Sonstige Verhaltenshinweise ¹
		Allgemeinbevölkerung	Besonders empfindliche Gruppen	
Sehr schlecht	Die momentane Luftqualität ist sehr schlecht. Gesundheitliche Beschwerden können auftreten. Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Kinder und ältere Personen, aber auch bei gesunden Menschen können Beschwerden auftreten.	Verlagern Sie körperlich anstrengende Aktivitäten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität reduzieren.	Vermeiden Sie körperliche Anstrengung im Freien. Verlagern Sie körperlich anstrengende Tätigkeiten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität beenden und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt	Damit die Luftbelastung nicht weiter ansteigt und wieder besser wird, können Sie selber dazu beitragen, indem Sie Ihr Auto zu Hause lassen. Benutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel und legen Sie kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurück. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren.

Index	Risiko	Gesundheitsverhalten		Sonstige Verhaltenshinweise ¹
		Allgemeinbevölkerung	Besonders empfindliche Gruppen	
Schlecht			Ihre Medikamente besprechen.	Verbrennen Sie kein Holz in Öfen oder Kaminen und verzichten Sie auf jede Art von Feuer im Freien.
	Die momentane Luftqualität ist schlecht. Gesundheitliche Beschwerden können auftreten. Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Kinder und ältere Personen.	Wenn Sie draußen Sport treiben, sollten Sie eine Gegend mit besserer Luftqualität (z. B. wenig Verkehr) bevorzugen. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität reduzieren.	Verlagern Sie körperlich anstrengende Aktivitäten in Zeiten oder an Orte mit besserer Luftqualität oder reduzieren Sie Ihre körperliche Anstrengung. Bei Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Aktivität beenden und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt Ihre Medikamente besprechen.	Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.
Mäßig	Die momentane Luftqualität ist mäßig. Ein Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden ist bei besonders empfindlichen Menschen möglich. Betroffen sind am ehesten Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.	Genießen Sie Ihre üblichen Aktivitäten im Freien.	Wenn Sie draußen Sport treiben, sollten Sie eine Gegend mit besserer Luftqualität (z. B. wenig Verkehr) bevorzugen und auf mögliche Beschwerden achten. Bei wiederholten Beschwerden wie z. B. Husten oder Kurzatmigkeit sollten Sie Ihre körperliche Anstrengung reduzieren und mit Ihrer Ärztin/Ihrem Arzt Ihre Medikamente besprechen.	Damit die Luftbelastung weiterhin mäßig bleibt oder wieder besser wird, können Sie selber dazu beitragen, indem Sie Ihr Auto zu Hause lassen. Benutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel und legen Sie kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurück. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren. Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich möglichst keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.

Index	Risiko	Gesundheitsverhalten		Sonstige Verhaltenshinweise ¹
		Allgemeinbevölkerung	Besonders empfindliche Gruppen	
Gut	Die momentane Belastung mit Luftschadstoffen ist gering. Es sind kaum kurzfristige gesundheitliche Beschwerden durch Luftschadstoffe zu erwarten. Allerdings sind bei langfristiger Belastung auf diesem Niveau Auswirkungen auf chronische Erkrankungen nicht ausgeschlossen.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Damit die Luftbelastung weiterhin so gut bleibt, können Sie selber dazu beitragen indem Sie Ihr Auto zu Hause lassen, öffentliche Verkehrsmittel benutzen und kürzere Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen. Bilden Sie Fahrgemeinschaften, statt alleine in einem Auto zu fahren. Verwenden Sie im Hobby- und Gartenbereich möglichst keine Geräte mit Verbrennungsmotoren.
Sehr gut	Die momentane Belastung mit Luftschadstoffen ist sehr gering. Es sind keine gesundheitlichen Beschwerden durch Luftschadstoffe zu erwarten.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien.	

¹ Die Empfehlungen für die „Sonstigen Verhaltensweisen“ wurden überwiegend aus dem Schweizer Luftqualitätsindex und den Empfehlungen der WHO zur Gestaltung von Luftqualitätsindizes übernommen (König Minger et al. 2020; WHO 2023)

4 Exemplarische Anwendung und Vergleich

Die in Abschnitt 3.2 vorgestellten LQI-Vorschläge wurden auf die Messdaten der Beispieljahre 2019 und 2022 angewandt. Ziel der Anwendung war, den Einfluss der angepassten Klassengrenzen auf die Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen zu ermitteln und zwischen den Vorschlägen zu vergleichen. Des Weiteren wurde der Beitrag der einzelnen Schadstoffe auf den jeweiligen LQI ermittelt, um die Bedeutung der einzelnen Stoffe für den LQI beurteilen zu können und ggf. die Über-Repräsentation eines Stoffes im LQI zu vermeiden. Dies ist insbesondere relevant, da nicht alle Messstationen alle Schadstoffe messen.

Im Folgenden wird zuerst die Methode der Auswertung vorgestellt (Abschnitt 4.1), bevor die Ergebnisse der Anwendung der LQI-Vorschläge 1 und 2 (Abschnitte 4.2 - 4.3) und der Erweiterung der Indizes um das Interaktionsmodul (Abschnitt 4.4) präsentiert werden. Abschließend wird ein zusammenfassender Vergleich des aktuellen UBA LQI und aller LQI-Vorschläge angestellt (Abschnitt 4.5).

4.1 Datengrundlage und Methodik

Als Datengrundlage für die Anwendung der LQI-Vorschläge auf die Beispieljahre 2019 und 2022 dienten die Stunden-Mittelwerte von NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ und PM_{2.5}, die an den Messstationen der Messnetze der Bundesländer und des UBA ermittelt und vom UBA zur Verfügung gestellt wurden. Für die Bestimmung des aktuellen UBA LQI wurden zudem gleitende 24-Stunden-Mittelwerte von PM₁₀ und PM_{2.5} verwendet. Im Jahr 2019 liegen Daten von insgesamt 439 Messstationen vor, im Jahr 2022 von 433 Messstationen. Da nur wenige dieser Stationen alle fünf Stoffe messen, liegen für jeden Stoff unterschiedlich viele Zeitreihen vor. Die Anzahl an Messstationen pro Stoff und Jahr sind in Tabelle 40 aufgelistet. 2019 gibt es genau eine Station (DESL001), die nur SO₂ misst und somit in den Auswertungen zum aktuellen UBA LQI nicht berücksichtigt wird, da dieser im Gegensatz zu den neuen Vorschlägen keine Bewertung von SO₂ vornimmt.

Tabelle 40: Anzahl an Messstationen pro Stoff und Jahr

Schadstoff	Anzahl Messstationen 2019	Anzahl Messstationen 2022
NO ₂	411	409
O ₃	272	277
SO ₂	115	108
PM _{2.5}	218	286
PM ₁₀	361	361

Für die Auswertung wurden zunächst alle Messwerte entsprechend der DIN 1333, Nummer 4.5.1 kaufmännisch auf ganze Zahlen gerundet (s. z. B. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim 2023). Anschließend wurden die Einzelbeurteilungen der Stoffe NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} basierend auf den Klassengrenzen der LQI-Vorschläge bestimmt. Auf Grundlage dieser Einzelbeurteilungen wurde der LQI als der schlechteste Beurteilungswert aller für das entsprechende Zeitintervall gemessenen Stoffe definiert. Der LQI wurde gebildet, sobald mindestens ein Beurteilungswert vorliegt. Da nur sehr wenige Messstationen alle fünf Schadstoffe messen, würde die Einschränkung, dass ein LQI nur gebildet wird, wenn alle fünf

Schadstoffe gemessen werden, dazu führen, dass in beiden Beispieljahren nur für wenige Stationen ein LQI gebildet werden könnte.

Um die Bedeutung der einzelnen Schadstoffe bei der Bildung des LQI zu ermitteln, wurde eine sogenannte „Verantwortlichkeit“ bestimmt. Dabei gilt ein Stoff als (mit-)verantwortlich für den LQI, wenn seine Einzelbeurteilung gleich dem LQI ist. Da dies für die Kategorie „sehr gut“ keine Aussagekraft hat, wurde diese Kategorie von der Betrachtung bezüglich der „Verantwortlichkeit“ eines Stoffes ausgeschlossen. Es können mehrere Stoffe gleichzeitig für den LQI verantwortlich sein.

Für einen Vergleich, wie sich die Häufigkeitsverteilungen der LQI-Klassen unter Anwendung der verschiedenen LQI-Vorschläge auf unterschiedliche Stationstypen auswirken, wurden die Stationen entsprechend ihrer Stationsart und ihrer Stationsumgebung in vier Stationstypen unterteilt: „Städtischer Hintergrund“, „Ländlicher Hintergrund“, „Verkehr“ und „Industrie“. Tabelle 41 listet die Anzahl der Stationen für die vier Stationstypen basierend auf ihren Metadaten „Art der Station“ und „Stationsumgebung“ auf.

Tabelle 41: Zuordnung der Messstationen zu einem Stationstyp basierend auf den Metadaten "Art der Station" und "Stationsumgebung" und Anzahl der Stationen, die im jeweiligen Jahr in die entsprechende Kategorie fallen

Zugeordneter Stationstyp	Art der Station	Stationsumgebung	Anzahl 2019	Anzahl 2022
Städtischer Hintergrund	Hintergrund	Städtisches Gebiet oder Vorstädtisches Gebiet	194	189
Ländlicher Hintergrund	Hintergrund	Ländlich abgelegen oder Ländlich regional oder Ländlich stadtnah oder Ländliches Gebiet	85	84
Industrie	Industrie	--	27	25
Verkehr	Verkehr	--	133	135

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Auswertemethoden werden in den folgenden Abschnitten für die verschiedenen LQI-Vorschläge präsentiert und mit einer entsprechenden Auswertung für den aktuellen UBA LQI verglichen.

4.2 LQI-Vorschlag 1 - Pragmatischer Ansatz

Vorschlag 1 ist der pragmatische Ansatz, welcher in Abschnitt 3.2.1 beschrieben wird. Die Klassengrenzen können Tabelle 25 entnommen werden.

4.2.1 Anwendung von LQI-Vorschlag 1

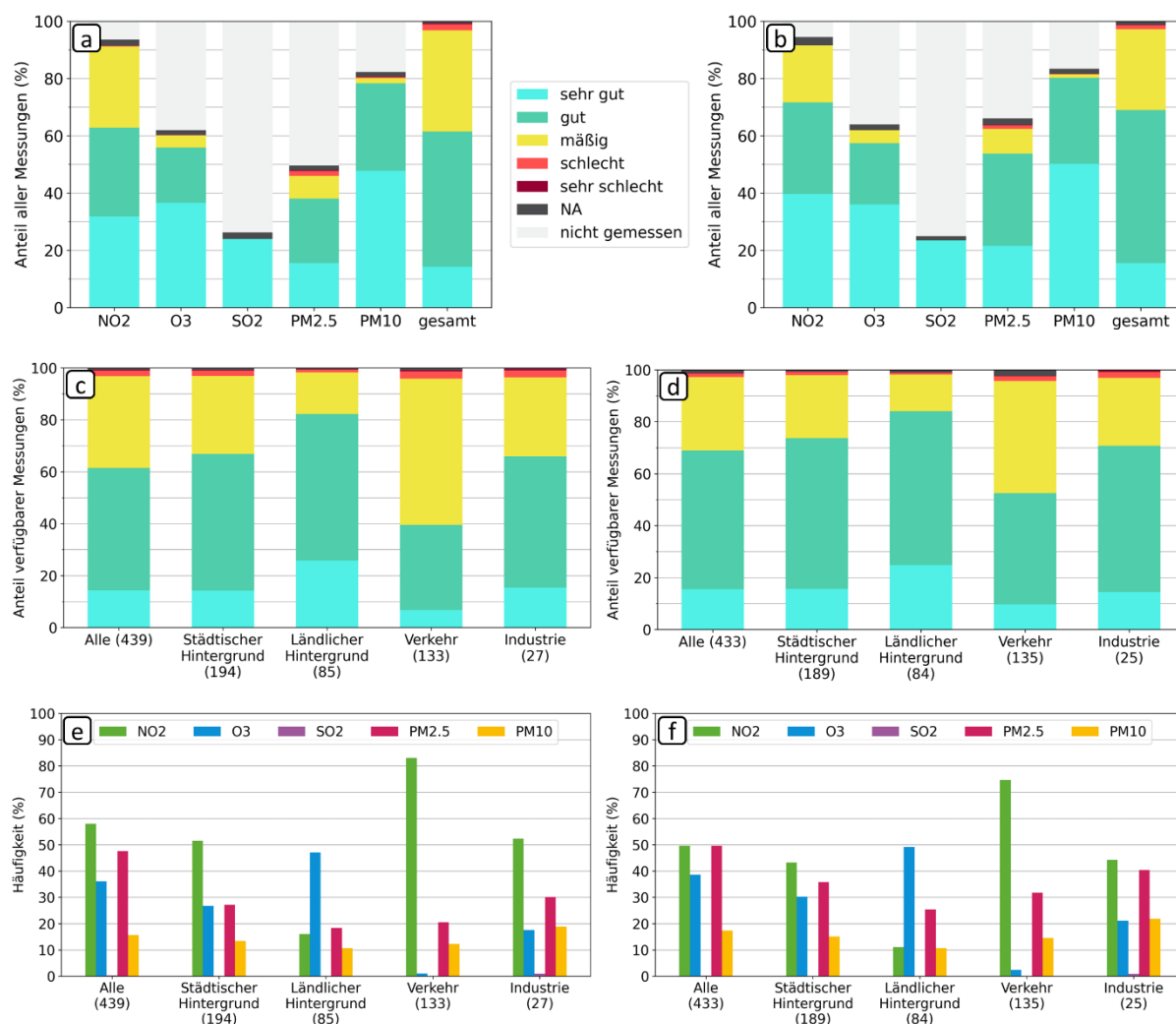
Die Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den LQI können Tabelle 42 entnommen werden. Alle Auswertungen zu Vorschlag 1 sind außerdem in Abbildung 7 visualisiert.

Tabelle 42: Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien des Vorschlags 1 für die Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den LQI für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	Gesamt
Nicht gemessen	6.38 % (5.54 %)	38.04 % (36.03 %)	73.80 % (75.06 %)	50.34 % (33.95 %)	17.77 % (16.63 %)	0.00 % (0.00 %)
Na ¹	2.22 % (2.86 %)	1.72 % (2.00 %)	2.22 % (1.44 %)	1.75 % (2.28 %)	1.61 % (1.67 %)	0.74 % (1.18 %)
Sehr schlecht	0.00 % (0.00 %)	0.00 % (0.00 %)	0.00 % (0.00 %)	0.23 % (0.11 %)	0.11 % (0.07 %)	0.31 % (0.16 %)
Schlecht	0.19 % (0.03 %)	0.06 % (0.02 %)	0.00 % (0.00 %)	1.72 % (1.27 %)	0.36 % (0.20 %)	2.15 % (1.41 %)
Mäßig	28.36 % (19.87 %)	4.34 % (4.54 %)	0.04 % (0.03 %)	7.90 % (8.60 %)	1.82 % (1.15 %)	35.32 % (28.29 %)
Gut	31.06 % (32.05 %)	19.28 % (21.39 %)	0.09 % (0.07 %)	22.50 % (32.29 %)	30.60 % (30.10 %)	47.21 % (53.43 %)
Sehr gut	31.79 % (39.64 %)	36.57 % (36.02 %)	23.85 % (23.40 %)	15.56 % (21.50 %)	47.73 % (50.17 %)	14.27 % (15.53 %)

¹ Na: nicht anwendbar

Abbildung 7: Auswertung des LQI-Vorschlags 1 für 2019 (links) und 2022 (rechts).
(a, b) Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den LQI.
(c, d) Häufigkeitsverteilung des LQI differenziert nach den Stationstypen.
(e, f) Verantwortlichkeit der fünf Stoffe bei der Bildung des LQI differenziert nach den Stationstypen.



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

Abbildung 7a und Abbildung 7b zeigen in je sechs gestapelten Balkendiagrammen die in Tabelle 42 beschriebene Häufigkeit der LQI-Kategorien der Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} sowie des LQI für 2019 und 2022. Zusätzlich zu den LQI-Kategorien „sehr gut“ bis „sehr schlecht“ sind die Kategorien „Na“ und „nicht gemessen“ aufgeführt. „Na“ resultiert aus Messlücken und kommt sowohl bei den Einzelbeurteilungen als auch im LQI vor. „Nicht gemessen“ hingegen resultiert aus Stationen, die den entsprechenden Schadstoff nicht messen, und tritt folglich nur bei den Einzelbeurteilungen auf, aber nicht beim LQI. Im Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für die beiden Jahre spiegelt sich die generelle Verbesserung der Luftqualität von 2019 auf 2022 wider (vgl. UBA 2023).

Die Beurteilung von NO₂ weist in beiden Jahren nahezu ausschließlich die Kategorien „sehr gut“, „gut“ und „mäßig“ auf. Die Kategorie „schlecht“ kommt in weniger als 0,2 % der Fälle vor, während die Kategorie „sehr schlecht“ in beiden Jahren nicht vorkommt. Ähnlich verhält es sich

für O₃, wobei hier auch die Kategorie „mäßig“ mit unter 5 % deutlich seltener auftritt als die Kategorien „gut“ (ca. 20 %) und „sehr gut“ (ca. 36 %). SO₂ wird nur an wenigen Messstationen gemessen und dort fast ausschließlich als „sehr gut“ klassifiziert. PM_{2.5} weist von allen Stoffen die schlechteste Bewertung auf, mit der Kategorie „sehr schlecht“ in 0.2 % (2019) bzw. 0.1 % (2022) der Fälle und der Kategorie „schlecht“ in 1.7 % (2019) bzw. 1.3 % (2022). PM₁₀ dagegen weist zwar ebenfalls die Kategorien „mäßig“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ auf, diese treten jedoch insgesamt sehr selten auf. Für den LQI bedeutet dies, dass bei der Anwendung von LQI-Vorschlag 1 die Kategorie „sehr gut“ in ca. 15 % der Fälle auftritt, die Kategorie „gut“ in ca. 50 %, die Kategorie „mäßig“ in ca. 30 % und die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ in unter 2.2 % bzw. unter 0.4 %.

Die nach dem Stationstyp differenzierte Verteilung der LQI-Kategorien ist in Abbildung 7c und Abbildung 7d dargestellt. Der Balken mit der Beschriftung „Alle“ entspricht hierbei dem Balken mit der Beschriftung „Gesamt“ in Abbildung 7a bzw. Abbildung 7b. Alle weiteren Balken enthalten die LQI-Verteilung der Stationen, die dem jeweiligen Stationstypen entsprechen. Obwohl in den Stationstypen unterschiedlich viele Stationen vorliegen (vgl. Tabelle 41), werden als 100 % immer die Anzahl der Stationen des jeweiligen Typs genutzt. Der Vorteil gegenüber einer Darstellung mit allen 439 bzw. 433 Stationen als 100 % ist, dass die relative Häufigkeit einer LQI-Klasse besser zwischen den vier Stationstypen verglichen werden kann und dass so insbesondere die Klassen-Verteilung an den Industriestationen besser ablesbar ist.

Aus Abbildung 7c und Abbildung 7d wird ersichtlich, dass die Luftqualität im ländlichen Hintergrund erwartungsgemäß am häufigsten als „sehr gut“ oder „gut“ bewertet wird, während sie an Verkehrsstationen am seltensten in diese Kategorien fällt. Außerdem zeigt sich, dass die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ anteilig am häufigsten an den Verkehrs- und Industriestationen auftreten. Die Verteilung der Einzelbeurteilungen für NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ an den vier Stationstypen kann den Grafiken in Anhang D.1 entnommen werden.

Zusätzlich zur Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien wurde untersucht, welche Stoffe an welchen Stationstypen für den LQI verantwortlich sind. Die Häufigkeitsverteilung dieser Verantwortlichkeit ist in Abbildung 7e und Abbildung 7f dargestellt. Insgesamt trägt NO₂ am stärksten zum LQI bei, was zum Teil auch daran liegt, dass NO₂ an mehr Stationen gemessen wird als jeder andere Stoff. Der Einfluss von PM_{2.5} steigt von 2019 auf 2022 an allen Stationstypen deutlich an, was durch die Zunahme an PM_{2.5}-Messstationen von 218 auf 286 beeinflusst wird. Unabhängig davon hat PM_{2.5} in beiden Jahren einen höheren Einfluss auf den LQI als PM₁₀. SO₂ hingegen spielt für den LQI kaum eine Rolle, da SO₂ von allen Stoffen am seltensten gemessen wird und nahezu ausschließlich als „sehr gut“ eingestuft wird.

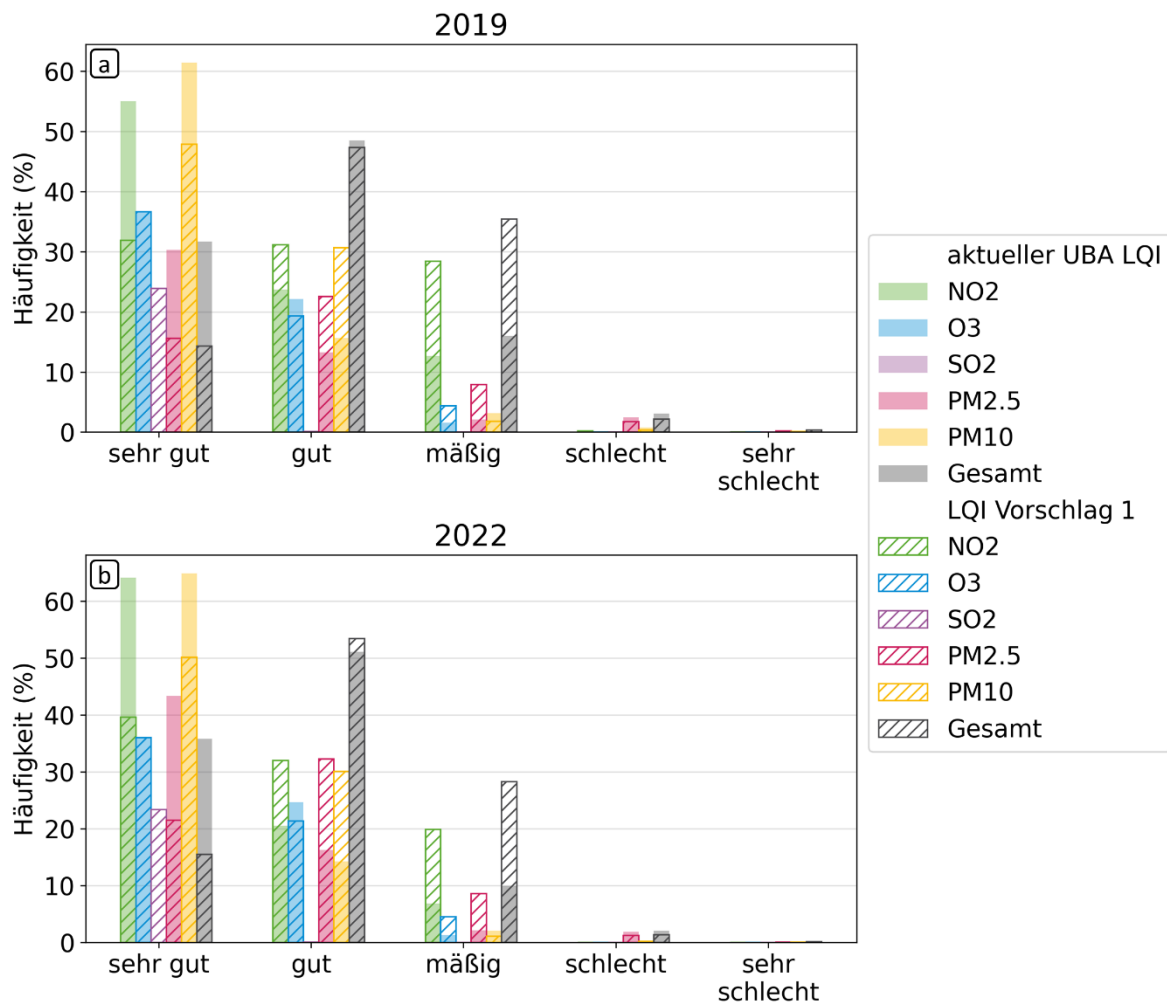
Im städtischen Hintergrund dominiert der Einfluss von NO₂, aber auch O₃ und PM_{2.5} bestimmen in 26 bis 34 % der Fälle den LQI (mit). Im ländlichen Hintergrund hingegen beeinflusst O₃ den LQI am häufigsten. An Verkehrsstationen ist insbesondere NO₂ relevant, aber auch die beiden PM-Werte beeinflussen den LQI, während O₃ und SO₂ kaum eine Rolle spielen. Obwohl dies die zu erwartenden luftchemischen Gegebenheiten in Verkehrsnähe widerspiegelt, muss berücksichtigt werden, dass O₃ an nur sehr wenigen Verkehrsstationen gemessen wird. An Industriestationen ist ebenfalls NO₂ am dominantesten.

4.2.2 Vergleich des LQI-Vorschlags 1 mit dem aktuellen UBA LQI

Nach der individuellen Betrachtung des LQI-Vorschlags 1 wird dieser im Folgenden mit dem aktuellen UBA LQI verglichen, um den Einfluss der neuen Klassengrenzen herauszuarbeiten. Abbildung 8 zeigt die Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für den aktuellen UBA LQI als ausgefüllte Balken und für den LQI-Vorschlag 1 als gestrichelte Balken für 2019 (Abbildung 8a)

und 2022 (Abbildung 8b). Für SO₂ werden keine ausgefüllten Balken angezeigt, da es nicht in die Berechnung des aktuellen UBA LQI einfließt.

Abbildung 8: Vergleich der Häufigkeit der LQI-Klassen zwischen dem aktuellen UBA LQI und dem LQI-Vorschlag 1



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

Für die Unterschiede zwischen LQI-Vorschlag 1 und dem aktuellen UBA LQI sind sowohl die geänderten Klassengrenzen als auch der veränderte Mittelungszeitraum für PM₁₀ und PM_{2.5} verantwortlich⁴. Die Kategorie „sehr gut“ kommt in Vorschlag 1 für NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ deutlich seltener vor als im aktuellen UBA LQI, da die Grenze zwischen „sehr gut“ und „gut“ für diese Stoffe (unabhängig vom Mittelungszeitraum) gesenkt wurde. Bei O₃ ändert sich die Häufigkeit in der Kategorie „sehr gut“ nicht, da die Grenze nicht angepasst wurde. Für den LQI bedeutet dies im Jahr 2019 eine Reduktion der Kategorie „sehr gut“ von 32 % im aktuellen UBA LQI auf 14 % im LQI-Vorschlag 1 bzw. von 36 % auf 16 % im Jahr 2022.

Die Kategorie „gut“ wird für O₃ seltener, während sie für NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ deutlich häufiger auftritt. Die Grenze zwischen „gut“ und „mäßig“ wurde zwar für alle vier Stoffe gesenkt, da jedoch (unabhängig vom Mittelungszeitraum) sehr viele geringe Konzentrationen gemessen

⁴ Für PM₁₀ und PM_{2.5} basiert der aktuelle UBA LQI auf gleitenden 24-Stunden-Mittelwerten, während LQI-Vorschlag 1 auf 1-Stunden-Mittelwerten basiert.

wurden, beeinflusst die Senkung der Grenze zwischen „sehr gut“ und „gut“ die Häufigkeitsverteilung der Einzelbeurteilungen von NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ mehr als die Senkung der Grenze zwischen „gut“ und „mäßig“. Dies gilt jedoch nicht für den LQI, welcher die Kategorie „gut“ nahezu unverändert häufig aufweist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich im LQI die Änderung von „sehr gut“ zu „gut“ und die Änderung von „gut“ zu „mäßig“ ausgleicht.

Die Kategorie „mäßig“ wird für PM₁₀ etwas seltener, während sie für NO₂, O₃, PM_{2.5} und für den LQI häufiger wird. Die Kategorie „schlecht“ tritt im LQI-Vorschlag 1 etwas seltener auf als im aktuellen UBA LQI. Dies ist insbesondere auf PM_{2.5} zurückzuführen, da PM_{2.5} in beiden Indizes der Stoff ist, der am häufigsten als „schlecht“ bewertet wird. Die Kategorie „sehr schlecht“ bleibt unverändert sehr selten.

4.3 LQI-Vorschlag 2 - Risikobasierter Ansatz

Der Vorschlag 2 basiert auf Expositions-Wirkungsbeziehungen und wird in Abschnitt 3.2.2 hergeleitet. Die genauen Klassengrenzen können Tabelle 46 entnommen werden.

4.3.1 Anwendung von LQI-Vorschlag 2

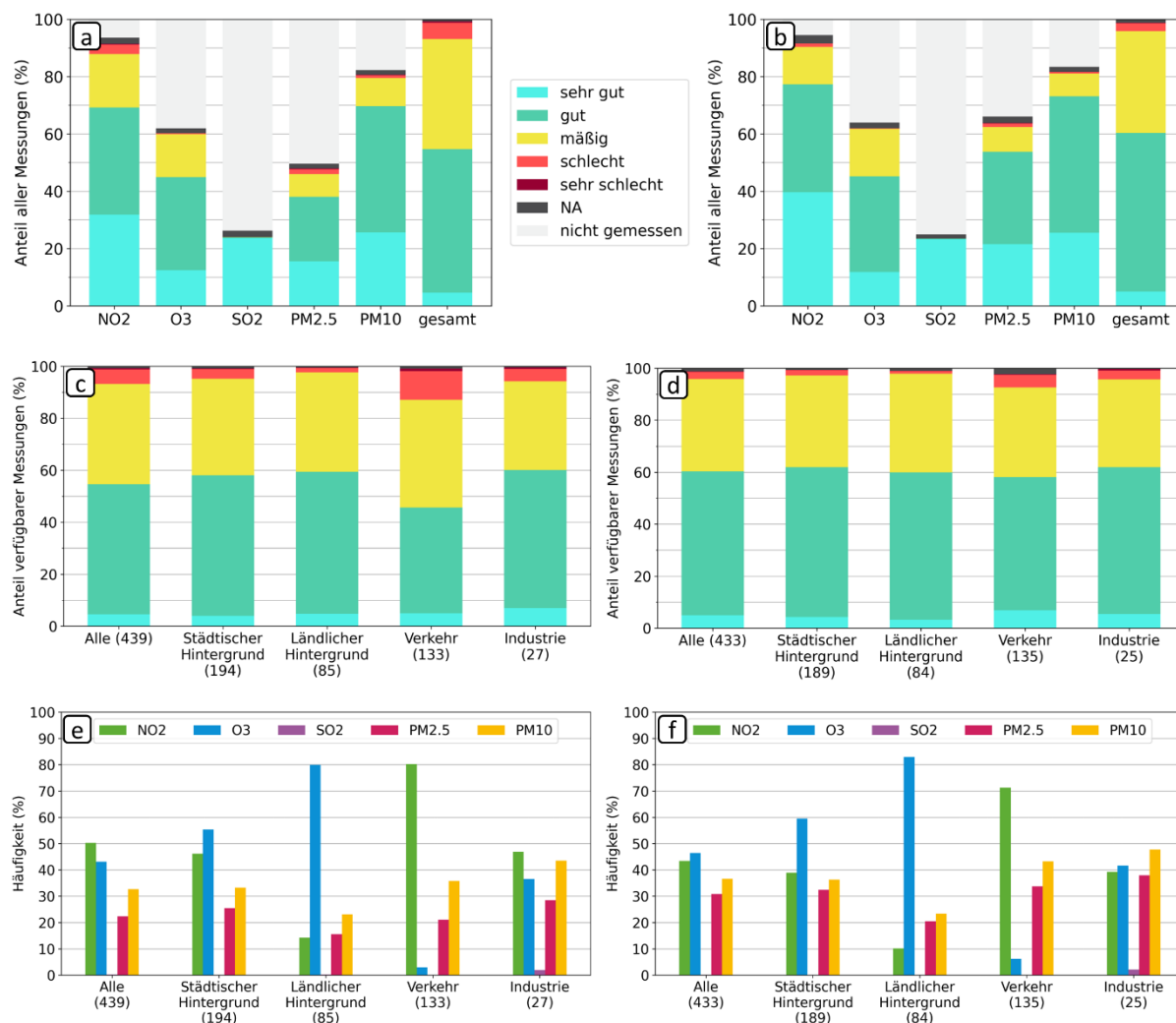
Die Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen der Einzelbeurteilungen und des LQI können Tabelle 43 sowie Abbildung 9a (2019) und Abbildung 9b (2022) entnommen werden. Analog zu Tabelle 42, Abbildung 7a und Abbildung 7b sind zusätzlich zu den LQI-Kategorien „sehr gut“ bis „sehr schlecht“ die Kategorien „Na“ und „nicht gemessen“ aufgeführt. „Na“ resultiert aus Messlücken und kommt sowohl bei den Einzelbeurteilungen als auch im LQI vor. „Nicht gemessen“ dagegen resultiert aus Stationen, die den entsprechenden Parameter nicht messen, und tritt folglich nur bei den Einzelbeurteilungen, nicht aber beim LQI auf. Gleich wie in LQI-Vorschlag 1 spiegelt sich die generelle Verbesserung der Luftqualität von 2019 auf 2022 in den Häufigkeitsverteilungen wider (vgl. UBA 2023).

Tabelle 43: Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien des Vorschlags 2 für die Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den LQI für 2019 (2022).

	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	Gesamt
Nicht gemessen	6.38 % (5.54 %)	38.04 % (36.03 %)	73.80 % (75.06 %)	50.34 % (33.95 %)	17.77 % (16.63 %)	0.00 % (0.00 %)
Na ¹	2.22 % (2.86 %)	1.72 % (2.00 %)	2.22 % (1.44 %)	1.75 % (2.28 %)	1.61 % (1.67 %)	0.74 % (1.18 %)
Sehr schlecht	0.19 % (0.03 %)	0.00 % (0.00 %)	0.01 % (0.00 %)	0.23 % (0.11 %)	0.11 % (0.07 %)	0.50 % (0.20 %)
Schlecht	3.36 % (1.20 %)	0.30 % (0.17 %)	0.01 % (0.01 %)	1.72 % (1.27 %)	0.99 % (0.56 %)	5.61 % (2.77 %)
Mäßig	18.61 % (13.07 %)	14.98 % (16.65 %)	0.05 % (0.04 %)	7.90 % (8.60 %)	9.79 % (7.94 %)	38.49 % (35.52 %)
Gut	37.45 % (37.66 %)	32.47 % (33.31 %)	0.31 % (0.26 %)	22.50 % (32.29 %)	44.09 % (47.62 %)	50.08 % (55.36 %)
Sehr gut	31.79 % (39.64 %)	12.50 % (11.84 %)	23.60 % (23.19 %)	15.56 % (21.50 %)	25.65 % (25.51 %)	4.59 % (4.97 %)

¹ Na: nicht anwendbar

Abbildung 9: Auswertung des LQI-Vorschlags 2 für 2019 (links) und 2022 (rechts).
(a, b) Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzelbeurteilungen von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den LQI.
(c, d) Häufigkeitsverteilung des LQI differenziert nach den Stationstypen.
(e, f) Verantwortlichkeit der fünf Stoffe für die Bildung des LQI differenziert nach den Stationstypen.



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

Vorschlag 2 hat im Vergleich zu Vorschlag 1 deutlich niedrigere Klassengrenzen. Dies führt dazu, dass der LQI in mehr Fällen als „schlecht“ oder „sehr schlecht“ eingestuft wird. NO₂ fällt in 3.55 % (2019) bzw. 1.23 % (2022) in die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ und auch die Kategorie „mäßig“ ist mit etwa 19 % (2019) bzw. 13 % (2022) häufig vertreten. Etwas seltener treten die schlechten Kategorien bei PM_{2.5} auf, sie machen jedoch immer noch 1.95 % (2019) bzw. 1.38 % (2022) aller Fälle aus. Auch PM₁₀ weist einen kleinen Anteil an als „schlecht“ oder „sehr schlecht“ klassifizierten Werten auf, diese machen jedoch nur etwa 1 % oder weniger aus. O₃ hingegen weist nie die Kategorie „sehr schlecht“ auf und auch die Kategorie „schlecht“ tritt nur in 0.3 % (2019) bzw. 0.17 % (2022) der Fälle auf. Noch positiver verhält es sich bei SO₂, für welches fast ausschließlich die Kategorie „sehr gut“ auftritt. Für den LQI bedeutet dies, dass bei der Anwendung von LQI-Vorschlag 2 die Kategorien „gut“ und „mäßig“ am häufigsten

vorkommen und etwa 90 % der Fälle ausmachen, während die Kategorie „sehr gut“ in nur etwa 5 % der Fälle auftritt. Die Kategorie „sehr schlecht“ tritt in 0.5 % (2019) bzw. 0.2 % (2022) der Fälle auf und ist folglich mit Abstand die seltenste Kategorie.

Diese Kategorienverteilung des LQI kann mithilfe von Abbildung 9c und Abbildung 9d nach dem Stationstyp differenziert betrachtet werden. Wie bereits für Abbildung 7c und Abbildung 7d erklärt, entspricht der Balken mit der Beschriftung „Alle“ hierbei dem Balken mit der Beschriftung „Gesamt“ der entsprechenden Teilgrafiken a und b. Alle weiteren Balken enthalten die LQI-Verteilung der Stationen, die dem jeweiligen Stationstypen entsprechen. Obwohl in den Stationstypen unterschiedlich viele Stationen vorliegen (vgl. Tabelle 41), werden als 100 % immer die Anzahl der Stationen des jeweiligen Typs genutzt. Die Verteilung der Einzelbeurteilungen für NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ an den vier Stationstypen kann den Grafiken in Anhang D.3 entnommen werden.

In 2022 weisen die Verteilungen der Bewertungsklassen für die vier Stationstypen nur geringfügige Unterschiede auf, die zum Teil aus der unterschiedlichen Anzahl an Messstationen resultieren können. In 2019 hingegen ist ab der Kategorie „gut“ eine verschlechterte Bewertung an den Verkehrsstationen erkennbar. Besonders deutlich wird dies bei den Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“, welche an den Verkehrsstationen mit Abstand am häufigsten vorkommen.

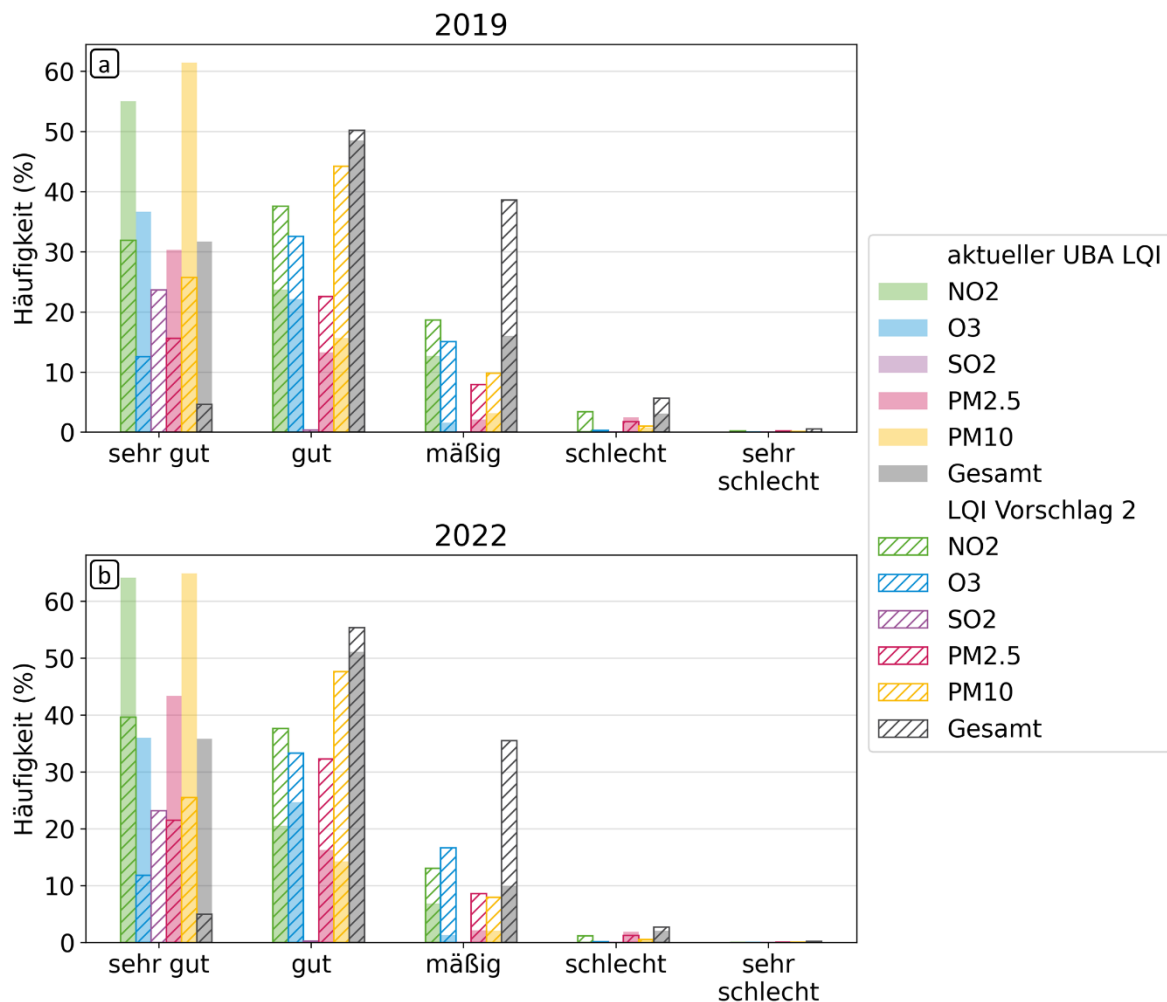
Die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Stationstypen (Abbildung 9c und Abbildung 9d) lassen sich am besten mithilfe der Abbildung 9e und Abbildung 9f verstehen, welche die Verantwortlichkeit der einzelnen Stoffe zur Bildung des LQI darstellen. An den Verkehrsstationen, welche die meisten schlechten Bewertungen aufweisen, fällt insbesondere der Einfluss von NO₂ auf: NO₂ ist in 70 bis 80 % der Fälle für den LQI (mit-)verantwortlich. Bedenkt man zusätzlich die Häufigkeit der schlechten Kategorien in der NO₂-Bewertung insbesondere im Jahr 2019 (vgl. Abbildung 9a und Abbildung 9b), so erklärt diese Verantwortlichkeit die vielen schlechten Bewertungen im LQI an den Verkehrsstationen.

Trotz dieser Dominanz von NO₂ an Verkehrsstationen ist über alle Stationen hinweg gesehen O₃ ähnlich wichtig wie NO₂. O₃ bestimmt im ländlichen Hintergrund klar den LQI und auch an den Stationen des städtischen Hintergrunds und an Industriestationen ist O₃ häufig (mit-)verantwortlich für den LQI. An Verkehrsstationen muss für die Beurteilung des Beitrags von O₃ berücksichtigt werden, dass es nur sehr wenige Verkehrsstationen gibt, die überhaupt O₃ messen. Nichtsdestotrotz ist es aufgrund der zu erwartenden luftchemischen Gegebenheiten sehr wahrscheinlich, dass O₃ an diesen Orten weniger wichtig ist als NO₂, PM_{2.5} und PM₁₀. Der Einfluss der beiden PM-Werte variiert zwischen den Stationstypen deutlich weniger als der Einfluss von NO₂ und O₃. Insbesondere für PM_{2.5} ist von 2019 auf 2022 eine Zunahme der Bedeutung für den LQI zu beobachten, was auf die Zunahme der Messung von PM_{2.5} zurückzuführen ist (vgl. Tabelle 40). An allen Stationstypen ist PM₁₀ wichtiger für den LQI als PM_{2.5}.

4.3.2 Vergleich des LQI-Vorschlags 2 mit dem aktuellen UBA LQI

Im Folgenden werden die Unterschiede zwischen den Beurteilungen basierend auf dem LQI-Vorschlag 2 und dem aktuellen UBA LQI genauer untersucht. Da die Klassengrenzen für Vorschlag 2 meist deutlich strenger gesetzt sind als im aktuellen UBA LQI und die beiden PM-Beurteilungen nun auf Basis von 1h-Mittelwerten statt gleitenden 24h-Mittelwerten definiert sind, verschiebt sich die Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien hin zu schlechteren Kategorien. Die stoffbezogenen Änderungen sowie die Änderungen im LQI können Abbildung 10 entnommen werden.

Abbildung 10: Vergleich der Häufigkeit der LQI-Klassen zwischen dem aktuellen UBA LQI und dem LQI-Vorschlag 2



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

Bei Anwendung des LQI-Vorschlags 2 verringert sich die Häufigkeit der Kategorie „sehr gut“ für alle Stoffe drastisch im Vergleich zur Anwendung des aktuellen UBA LQI, wodurch die Häufigkeit dieser Kategorie im LQI von 32 % (2019) bzw. 26 % (2020) auf jeweils etwa 5 % absinkt. Die Kategorie „gut“ wird für alle Einzelbeurteilungen häufiger aber für den LQI seltener. Dies ergibt sich daraus, dass die Kategorie „mäßig“ für alle Einzelbeurteilungen häufiger wird und schon ein Stoff in der Kategorie „mäßig“ ausreicht, um einen LQI in der Kategorie „gut“ zu „verhindern“. Folglich ist die geänderte Häufigkeit der Kategorie „gut“ im LQI dominiert durch die Verschiebung der Einzelbeurteilungen von der Kategorie „gut“ zu „mäßig“ und nicht durch die Verschiebung der Einzelbeurteilungen von der Kategorie „sehr gut“ zu „gut“. Die Kategorien „mäßig“ bis „schlecht“ werden für alle Einzelbeurteilungen und den LQI häufiger. Einzige Ausnahme bildet PM_{2,5}: hier nimmt die Kategorie „schlecht“ leicht ab, da hier zwar die Obergrenze (50 µg/m³) beibehalten wird, die Untergrenze jedoch von 26 µg/m³ (aktueller UBA LQI) auf 31 µg/m³ (LQI-Vorschlag 2) erhöht wird. Somit wird die Konzentrationsspanne in dieser Kategorie kleiner und weniger Messwerte fallen hinein.

4.4 Einfluss des Interaktionsmoduls

Das Interaktionsmodul, welches in Abschnitt 3.2.3 vorgestellt wird, wurde auf die LQI-Vorschläge 1 und 2 angewendet. Da es in Vorschlag 1 eine extrem geringe Wirkung zeigte, wird im Folgenden nur der Einfluss des Interaktionsmoduls auf Vorschlag 2 präsentiert.

Um die Abhängigkeit der Häufigkeit des Auftretens des Interaktionsmoduls von der „Interaktionsgrenze“ zu bestimmen, wurde untersucht, wie häufig das Interaktionsmodul auftritt, wenn die Konzentration von mindestens zwei Schadstoffen in den oberen 25 %, in den oberen 50 %, in den oberen 75 % oder in der gesamten Kategorie „mäßig“ bzw. „schlecht“ liegt. Diese durch Anwendung des Interaktionsmoduls auf eine Vorgängerversion des Vorschlags 2⁵ erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 44 dargestellt. Die Entscheidung für das im Folgenden genutzte 50 %-Kriterium erfolgte mangels Daten, aus denen sich ein evidenzbasiertes Kriterium ableiten ließe, durch das UBA.

Das Interaktionsmodul greift somit in zwei Fällen:

- Der Gesamt-LQI liegt in der Kategorie „mäßig“ und mindestens zwei Schadstoffe fallen in die oberen 50 % des Wertebereichs ihrer Kategorie „mäßig“. In diesem Fall wird der Gesamt-LQI zu „schlecht“ verändert.
- Der Gesamt-LQI liegt in der Kategorie „schlecht“ und mindestens zwei Schadstoffe fallen in die oberen 50 % des Wertebereichs ihrer Kategorie „schlecht“. In diesem Fall wird der Gesamt-LQI zu „sehr schlecht“ verändert.

Es gibt keinen Übergang von der Kategorie „gut“ zur Kategorie „mäßig“, da wir davon ausgehen, dass in den Kategorien „sehr gut“ und „gut“ die Wirkungen und potentiellen Interaktionen so gering sind, dass sie für die Verhaltensempfehlungen keine praktische Relevanz haben.

Tabelle 44: Häufigkeit der Aktivierung des Interaktionsmoduls in Stunden und in Prozent für die vier getesteten Definitionen des Interaktionsmoduls. Das 50 %-Kriterium ist die Variante, die letztendlich angewendet wurde.

Kategorie-Änderung durch Interaktion	Obere 25 % der Kategorie	Obere 50 % der Kategorie	Obere 75 % der Kategorie	Gesamte Kategorie
„mäßig“ zu „schlecht“ (2019)	5770 h ≈ 0.15 %	28316 h ≈ 0.74 %	89474 h ≈ 2.33 %	225500 h ≈ 5.86 %
„schlecht“ zu „sehr schlecht“ (2019)	284 h ≈ 0.01 %	2002 h ≈ 0.05 %	7700 h ≈ 0.20 %	23556 h ≈ 0.61 %
„mäßig“ zu „schlecht“ (2022)	4782 h ≈ 0.12 %	25944 h ≈ 0.67 %	85018 h ≈ 2.21 %	214890 h ≈ 5.59 %
„schlecht“ zu „sehr schlecht“ (2022)	174 h ≈ 0.01 %	1158 ≈ 0.03 %	4804 h ≈ 0.13 %	15403 h ≈ 0.40 %

Aus Tabelle 44 wird ersichtlich, dass das Interaktionsmodul nur in wenigen Stunden aktiviert wird. Das Interaktionsmodul erhöht deutlich häufiger die Kategorie von „mäßig“ zu „schlecht“ als von „schlecht“ zu „sehr schlecht“, weil die Kategorie „mäßig“ bei allen Stoffen häufiger vertreten ist als die Kategorie „schlecht“. Dies gilt sowohl für die Vorgängerversion des

⁵ leicht abweichende Klassengrenzen zum in Tabelle 46 präsentierten Vorschlag 2

Vorschlag 2, für welche die Häufigkeiten in Tabelle 44 präsentiert sind, als auch für den finalen Vorschlag 2, welcher in diesem Bericht diskutiert wird.

In 84 % der Fälle führt das gleichzeitige Überschreiten der Auslöseschwelle von NO₂ und einer der beiden PM-Werte zur Aktivierung des Interaktionsmoduls. Deutlich seltener spielen das gleichzeitige Überschreiten der jeweiligen Schwellwerte von O₃ und einem der beiden PM-Werte eine Rolle. Kombinationen mit SO₂ führen fast nie zu einer Aktivierung des Moduls, da die SO₂-Konzentrationen extrem selten überhaupt in den Kategorien „mäßig“ oder „schlecht“ liegen.

Zusätzlich zum generellen Auftreten des Interaktionsmoduls wurde geprüft, ob das Interaktionsmodul gehäuft an wenigen Stationen auftritt. Im Jahr 2019 weisen 85 % der Stationen mindestens eine Stunde mit einer Erhöhung von „mäßig“ zu „schlecht“ auf, wobei die höchste Anzahl der an einer Station beeinflussten Stunden bei 262 von 8760 h liegt (= 3.0 %). Im Jahr 2022 sind es 88 % der Stationen mit einer Höchstanzahl von 268 h (= 3.1 %). Eine Erhöhung von „schlecht“ zu „sehr schlecht“ findet 2019 an 30 % der Stationen mit einer Höchstanzahl von 58 von 8760 h statt (= 0.7 %). Im Jahr 2022 sind es 23 % der Stationen mit einer Höchstanzahl von 15 h (= 0.2 %). Aus dieser Untersuchung kann geschlossen werden, dass das Interaktionsmodul nicht gehäuft an wenigen Stationen auftritt, sondern alle Stationen in geringem Maße beeinflusst.

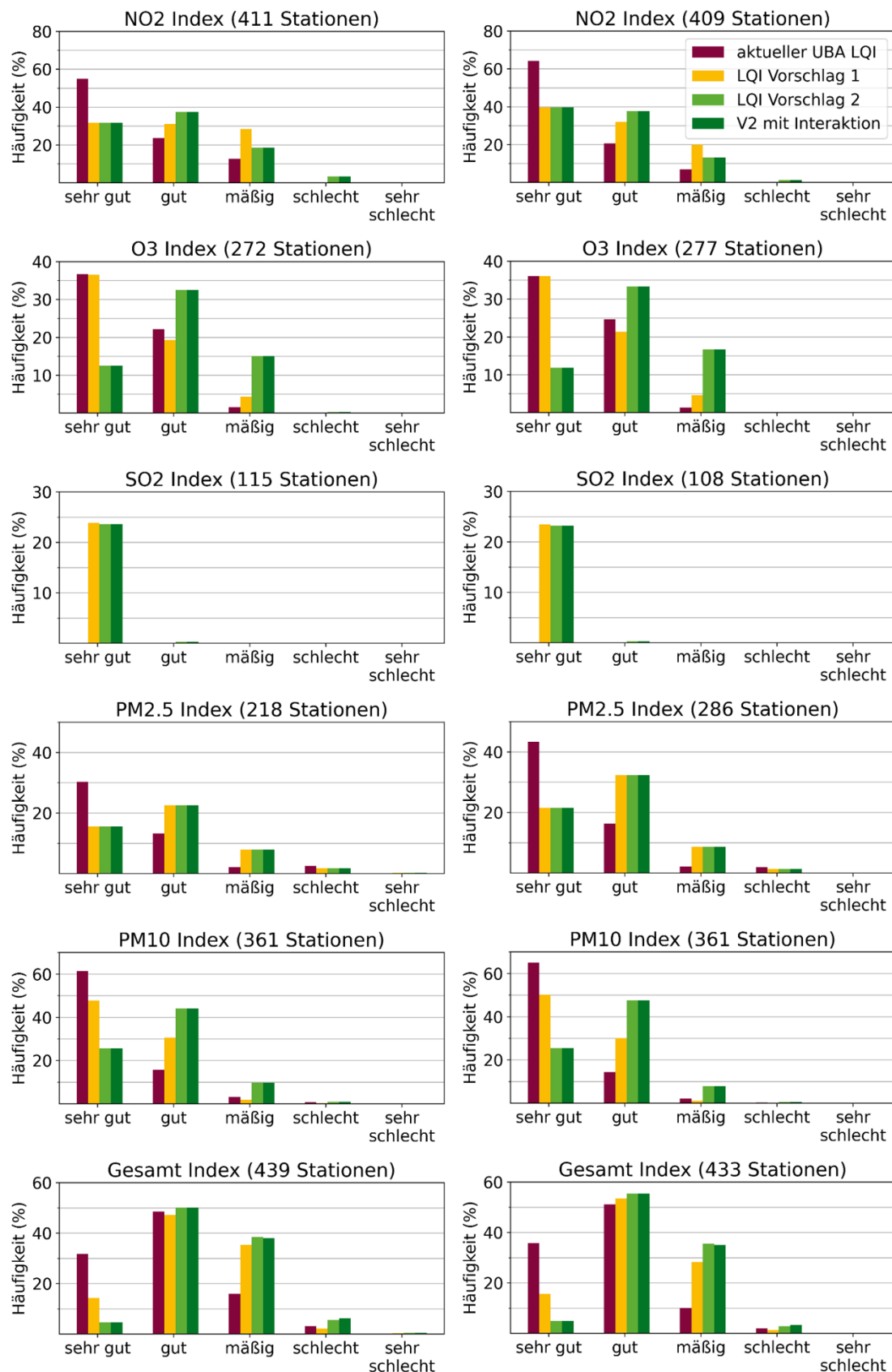
Die genaue Verteilung der Bewertungsklassen für den Vorschlag 2 mit Interaktionsmodul wird im folgenden Abschnitt im Rahmen des Vergleichs aller Indexvarianten mit dem aktuellen UBA LQI diskutiert.

4.5 Zusammenfassender Vergleich aller LQI-Varianten

In diesem Abschnitt werden zusammenfassend die Unterschiede zwischen dem aktuellen UBA LQI, dem pragmatischen Ansatz (LQI-Vorschlag 1), dem risikobasierten Ansatz (LQI-Vorschlag 2) ohne Interaktionsmodul und dem risikobasierten Ansatz (LQI-Vorschlag 2) mit Interaktionsmodul diskutiert. Abbildung 11 zeigt hierfür die Häufigkeitsverteilungen der fünf Einzelbeurteilungen und des LQI für 2019 (linke Spalte) und 2022 (rechte Spalte). Vorschlag 2 mit Interaktionsmodul wird nur für den LQI und nicht für die Einzelbeurteilungen diskutiert, da das Interaktionsmodul nur den Gesamt-LQI beeinflusst. Die genauen Zahlenwerte aus Abbildung 11 sind im Anhang in Tabelle 48 bis Tabelle 53 aufgelistet.

Die Kategorien ‚Na‘ und ‚Nicht gemessen‘, welche in den vorherigen Abschnitten mit aufgelistet sind, sind in Abbildung 11 nicht aufgeführt, da sie sich zwischen den Index-Vorschlägen nicht unterscheiden. Für die Berechnung der Anteile wurden sie jedoch einbezogen, so dass sich der Anteil stets auf die Gesamtheit aller Stunden an allen 439 bzw. 433 Messstationen bezieht. Die Berechnung der Anteile ist somit konsistent mit der Berechnung der Anteile in den Abschnitten 4.2 und 4.3.

Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der LQI-Klassen der vier untersuchten Indexvarianten in 2019 (links) und 2022 (rechts) für NO₂, O₃, SO₂, PM_{2,5} und PM₁₀ und den LQI.



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

NO₂

Unter dem aktuellen UBA LQI wird NO₂ am häufigsten als „sehr gut“ (55.0 bzw. 64.2 % der Fälle), am zweithäufigsten als „gut“ (23.7 bzw. 20.5 % der Fälle) und in nahezu allen verbleibenden Fällen als „mäßig“ klassifiziert. Die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ kommen mit unter 0.2 % (fast) nicht vor. Unter LQI-Vorschlag 1 bleibt die Seltenheit der Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ erhalten. Die Häufigkeiten für die Kategorien „sehr gut“ bis „mäßig“ hingegen gleichen sich deutlich aneinander an, was einer insgesamt schlechteren indexbasierten Einordnung der Luftqualität aufgrund von NO₂ entspricht. Unter Vorschlag 2 führt NO₂ zu deutlich anderen Einordnungen als unter dem aktuellen UBA LQI und Vorschlag 1: Die Kategorie „sehr gut“ wird seltener als die Kategorien „gut“ und die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ kommen erstmals in über 0.2 % der Fälle vor. Die Änderung der NO₂ Klassen-Verteilung hin zu schlechteren Indexklassen durch eine Umstellung vom aktuellen UBA LQI auf Vorschlag 2 ist folglich stärker als bei einer Umstellung auf Vorschlag 1.

O₃

Der aktuelle UBA LQI weist für O₃ eine ähnliche Häufigkeitsverteilung auf wie für NO₂ mit den meisten Messungen in der Kategorie „sehr gut“ (36.7 bzw. 36.0 %), dann „gut“ (22.1 bzw. 24.7 %), „mäßig“ (1.6 bzw. 1.3 %) und (fast) keinen Klassifizierungen als „schlecht“ (0.03 bzw. 0.01 %) oder „sehr schlecht“ (0.0 %). Durch LQI-Vorschlag 1 ergeben sich hierzu relativ geringe Änderungen: es zeigt sich eine leichte Verschiebung von „gut“ zu „mäßig“ (auf 19.3 bzw. 21.4 % in der Kategorie „gut“ und auf 4.3 bzw. 4.5 % in der Kategorie „mäßig“), jedoch ohne das generelle Bild zu verändern. Vorschlag 2 hingegen führt erneut zu einer deutlichen Verschlechterung der Klassifizierung. Die Kategorie „sehr gut“ tritt nur noch etwa ein Drittel so häufig auf wie beim aktuellen UBA LQI (12.5 bzw. 11.8 %). Die Kategorie „gut“ (32.5 bzw. 33.3 %) und insbesondere die Kategorie „mäßig“ (15.0 bzw. 16.7 %) hingegen nimmt deutlich zu, wohingegen die Kategorien „schlecht“ (0.3 bzw. 0.2 %) und „sehr schlecht“ (0.0 %) weiterhin (fast) nicht auftreten.

SO₂

SO₂ wurde neu in den LQI aufgenommen, sodass kein Vergleich zum aktuellen UBA LQI angestellt werden kann. Zwischen Vorschlag 1 und 2 gibt es jedoch kaum Unterschiede, da fast alle Messungen in die Kategorie „sehr gut“ fallen.

PM_{2.5}

PM_{2.5} weist beim aktuellen UBA LQI überwiegend sehr gute (30.3 bzw. 43.4 %) und gute (13.2 bzw. 16.3 %) Klassifizierungen auf. Die Kategorie „schlecht“ kommt jedoch von allen betrachteten Stoffen für PM_{2.5} in beiden Jahren am häufigsten vor (2.5 bzw. 1.9 %). Die Vorschläge 1 und 2 haben für PM_{2.5} die gleichen Klassengrenzen, so dass ihre Unterschiede zum aktuellen UBA LQI gemeinsam behandelt werden können. In beiden Vorschlägen erfährt die Kategorie „gut“ den stärksten Zuwachs (auf 22.5 bzw. 32.3 %), resultierend aus einer starken Abnahme der Kategorie „sehr gut“ (auf 15.6 bzw. 21.5 %). Auch die Kategorie „mäßig“ weist nun deutlich mehr Fälle auf (7.9 bzw. 8.6 %), während die Kategorie „schlecht“ seltener wird (1.7 bzw. 1.3 %).

PM₁₀

Auch für PM₁₀ weist der aktuelle UBA LQI recht positive Klassifizierungen auf. Im Gegensatz zu NO₂ und O₃ tritt für PM₁₀ jedoch auch die Kategorie „schlecht“ in seltenen Fällen auf (0.8 bzw. 0.4 %). Vorschlag 1 bewirkt für PM₁₀ insbesondere eine Zunahme der Kategorie „gut“ (auf 30.6 bzw. 30.1 %), was sowohl aus Änderungen von „sehr gut“ zu „gut“ als auch aus Änderungen von „mäßig“ zu „gut“ gespeist wird. Zusätzlich wird die Kategorie „schlecht“ im Vorschlag 1 seltener

(0.4 bzw. 0.2 %). Unter Vorschlag 2 werden die Kategorien „gut“ bis „sehr schlecht“ häufiger, wobei die Kategorie „sehr schlecht“ weiterhin sehr selten auftritt. Außerdem zeigt sich eine noch stärkere Zunahme der Kategorie „gut“ als bereits in Vorschlag 1 (auf 44.1 bzw. 47.6 %). In diesem Fall ist die Zunahme der Kategorie „gut“ jedoch rein aus einer Verschiebung von „sehr gut“ zu „gut“ gespeist, welche die auftretende Verschiebung von „gut“ zu „mäßig“ überdeckt.

LQI

Für den LQI ergibt sich unter dem aktuellen UBA LQI am häufigsten die Kategorie „gut“ (48.5 bzw. 51.1 %). Dies bleibt unter allen LQI-Vorschlägen bestehen. Die Kategorie „sehr gut“, welche im aktuellen UBA LQI am zweithäufigsten vorkommt (31.7 bzw. 35.8 %), nimmt unter allen LQI-Vorschlägen stark ab. Diese Abnahme ist bei Vorschlag 2 (mit und ohne Interaktionsmodul) deutlich stärker (auf 4.6 bzw. 5.0 %) als bei Vorschlag 1 (auf 14.3 bzw. 15.5 %). Die Kategorie „mäßig“ tritt im aktuellen UBA LQI am dritthäufigsten auf (16.0 bzw. 10.0 %). Sie erfährt in allen LQI-Vorschlägen eine starke Zunahme, wobei die Zunahme unter Vorschlag 2 ohne Interaktionsmodul am stärksten ausfällt (auf 38.5 bzw. 35.5 %). Unter Vorschlag 2 mit Interaktionsmodul ist sie etwas geringer (auf 37.9 bzw. 35.0 %), da durch das Interaktionsmodul einige Werte von „mäßig“ zu „schlecht“ verschoben werden. Vorschlag 1 führt ebenfalls zu einer Verstärkung der Kategorie „mäßig“ (auf 35.3 bzw. 28.3 %), diese ist jedoch geringfügig schwächer als unter den anderen beiden Vorschlägen. Die Kategorie „schlecht“ findet unter dem aktuellen UBA LQI nur sehr geringe Anwendung (3.1 bzw. 2.1 %) und wird unter Vorschlag 1 sogar noch seltener (2.2 bzw. 1.4 %). Unter Vorschlag 2 hingegen nimmt sie deutlich zu (auf 5.6 bzw. 2.8 %), wobei die Anwendung des Interaktionsmoduls dazu führt, dass sie minimal häufiger auftritt (6.2 bzw. 3.2 %) als im Vorschlag 2 ohne Interaktionsmodul. Die Kategorie „sehr schlecht“ ist im aktuellen UBA LQI extrem selten (0.1 bzw. 0.0 %). Unter den neuen LQI-Vorschlägen bleibt sie weiterhin sehr selten, wobei die Zunahme unter Vorschlag 2 mit und ohne Interaktionsmodul (auf 0.5 bzw. 0.2 %) stärker ist als unter Vorschlag 1 (auf 0.3 bzw. 0.2 %).

Fazit

Alle hier präsentierten LQI-Vorschläge bringen über alle Stationen und alle Stunden betrachtet eine Verschiebung der an die Bevölkerung zu kommunizierenden Indexwerte hin zu schlechteren Klassen mit sich. Unter Vorschlag 2 (mit und ohne Interaktionsmodul) ist diese Verschlechterung stärker als unter Vorschlag 1. In den betrachteten Beispieljahren zeigte sich dies insbesondere in einer Erhöhung der Häufigkeit der Kategorie „sehr schlecht“ von unter 0.1 % auf bis zu 0.5 %.

5 Formulierung von Empfehlungen für eine Übernahme in der App Luftqualität und Portal Luftdaten

Ziel eines LQI ist die zeitnahe Warnung vor potentiell gesundheitsschädigenden kurzfristigen Schadstoffkonzentrationen verbunden mit entsprechenden Verhaltensempfehlungen für die Bevölkerung bzw. für Teile der Bevölkerung. Dabei soll die Kommunikation schnell, einfach und verständlich sein. Der LQI soll hierdurch zum präventiven Gesundheitsschutz beitragen.

Eine Ausweitung von der messstationsbasierten Indexermittlung hin zu einer flächenhaften Betrachtung der Langzeitkonzentrationen durch entsprechende Modellierungen sowie eine zeitliche Vorhersage unter Anwendung von Vorhersagemodellen waren nicht Bestandteil des Projekts.

5.1 Rahmenbedingungen und Eigenschaften der beiden Indizes

Im Projekt wurden zwei verschiedene Indexvarianten erarbeitet, welche auf bestehenden wissenschaftlichen Empfehlungen und gesetzlich festgelegten Warn- oder Informationsschwellen („pragmatischer“ Ansatz) oder auf der Risikoerhöhung gegenüber gesundheitlichen Auswirkungen („risikobasierter“ Ansatz) beruhen. Beide Ansätze behalten dabei, wie in den Rahmenbedingungen zu Beginn des Projekts festgelegt, die grundlegende Struktur des bestehenden UBA LQI bezüglich Anzahl der Beurteilungsklassen, Farbwahl und visuelle Darstellung bei.

Weitere Rahmenbedingungen, die zu Beginn des Projekts festgeschrieben wurden, beziehen sich auf drei wichtige Neuerungen: (1) Die Basierung auf stündlichen Werten für alle Schadstoffe (anstatt wie bisher Nutzung von gleitenden 24h-Mittelwerten für die Partikelmasse), (2) die Integration von SO₂ in den Index und (3) die Berücksichtigung der Richtwerte der WHO AQG 2021. Ergänzend wurde die Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Schadstoffen betrachtet. Tabelle 45 fasst die jeweiligen Eigenschaften der beiden Indizes vergleichend zusammen.

Tabelle 45: Haupteigenschaften der beiden Indexvarianten

Aspekt	„Pragmatischer“ UBA LQI	„Risikobasierter“ UBA LQI	Bemerkungen
Anzahl Schadstoffe	5	5	Vereinbart
Klassenzahl	5	5	Vereinbart
Farbwahl	Bisherige UBA LQI Farben	Bisherige UBA LQI Farben	Vereinbart, entspricht Europäischen AQI
Grundstruktur der Indexbildung	Einzelindizes für jeden Schadstoff, der höchste bestimmt den Gesamtindex	Einzelindizes für jeden Schadstoff, der höchste bestimmt den Gesamtindex	
Beurteilungszeitraum	Stündlich	Stündlich	Vereinbart

Aspekt	„Pragmatischer“ UBA LQI	„Risikobasierter“ UBA LQI	Bemerkungen
Gesundheitsendpunkte	Überwiegend Gesamtsterblichkeit (dominiert die Ableitung der genutzten Grenz- und Richtwerte)	Krankenhausaufnahmen, Notfälle, Gesamtsterblichkeit	
Grundlage für Beurteilung	WHO AQG 2021, EK Entwurf 2022	WHO AQG 2021, EK Entwurf 2022, systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen für gesundheitliche Risiken	
Risikoanstieg pro Schadstoff und Klasse	Für jeden Schadstoff und jede Bewertungsklasse unterschiedlich	Für alle Schadstoffe äquivalent	
Interaktionsmodul	Anwendbar	Anwendbar	
Gesundheitsempfehlungen	Theoretisch nicht einheitlich für alle Stoffe pro Bewertungsklasse, da die Klassen je nach Schadstoff unterschiedliche Risiken bedeuten	Einheitlich pro Bewertungsklasse	
Kommunikation	Bewertungsklassen, genaue Werte nur Zusatzinfo	Bewertungsklassen, genaue Werte nur Zusatzinfo	
Vergleichbarkeit mit dem europäischen AQI	-	-	Der europäische AQI befindet sich gerade in Entwicklung, so dass die Vergleichbarkeit noch nicht beurteilt werden kann.
Klassengrenzen orientiert an normativen Richt- und Schwellenwerten	Ja, überwiegend	Teilweise	
Häufigkeit von „schlecht“ oder „sehr schlecht“ im Jahr 2022	1.57 %	2.97 %	
Häufigkeit von „gut“ oder „sehr gut“ im Jahr 2022	70.96 %	60.33 %	

5.2 Diskussion der Stärken und Schwächen der beiden im Projekt vorgeschlagenen Indizes

5.2.1 Festlegung der Klassengrenzen

Beide Indizes unterscheiden sich in erster Linie durch die zugrundeliegende Methodik der Klassenableitung. Diese basiert beim pragmatischen Index weitgehend auf von der WHO bzw. der EU festgelegten Richt- oder Schwellenwerten ergänzt um pragmatische Festlegungen von Klassengrenzen. Dabei werden für die untersten Klassengrenzen zwischen der Klasse „sehr gut“ und „gut“ sowie zwischen „gut“ und „mäßig“ die Richtwerte der WHO AQG 2021 für Lang- und Kurzzeitkonzentrationen für alle Schadstoffe (Ausnahmen SO₂) genutzt. Für die oberste Klassengrenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ werden die gesetzlichen Alarm- und Informationsschwellen genutzt. Für die Klassengrenze zwischen „mäßig“ und „schlecht“ wird ein Wert zwischen den angrenzenden Klassengrenzen gesetzt, so dass die Klassen ungefähr gleich groß sind.

Der pragmatische Index hat den Vorteil einer einfachen Konstruktion. Ebenso kann er bei einer Veränderung der normativen Richt- und Grenzwerte schnell angepasst werden. Die Vorgehensweise ist einfach nachzuvollziehen und umzusetzen, lässt sich durch Angabe von Quellen leicht belegen, ist intuitiv vermittelbar und kongruent mit gesetzlichen Informations- und Warnschwellen. Problematisch ist, dass die obersten Klassengrenzen nicht auf den gesundheitlichen Wirkungen basieren, da bei der Festlegung von gesetzlichen Informations- und Warnschwellen politische Überlegungen eine wichtige Rolle spielen und daher der Gesundheitsschutz nicht im alleinigen Fokus steht. Problematisch ist darüber hinaus, dass die Risikoerhöhungen bei den verschiedenen Schadstoffen bei gleicher Bewertungsklasse unterschiedlich sind. Dies ist insbesondere für die Bildung des Gesamtindex problematisch, denn je nach Schadstoff, der den Gesamtindex bestimmt, kann die Risikoerhöhung für gesundheitliche Auswirkungen unterschiedlich sein.

Im Unterschied zum pragmatischen LQI ist der risikobasierte LQI von der Idee einer gleichhohen Risikosteigerung für gesundheitliche Wirkungen, unabhängig vom Schadstoff, geleitet (Risikoäquivalenz). Als Referenzschadstoff wird PM_{2,5} genutzt, für den die meiste wissenschaftliche Evidenz für Expositions-Wirkungsbeziehungen vorliegt. Dies erlaubt, sowohl für die Einzelindizes als auch für den Gesamtindex, für jede Bewertungsklasse die gleichen Empfehlungen zum gesundheitlichen Verhalten zu geben. Dennoch muss auch beim risikobasierten LQI eine normative Festlegung über die Klassengrenzen getroffen werden, da es keine wissenschaftlich abgeleiteten Schwellen für die gesundheitlichen Wirkungen gibt. Hierzu wurden die Richtwerte der WHO AQG 2021 für Lang- und Kurzzeitwerte von PM_{2,5} genutzt, um die Klassengrenzen in den beiden unteren Bewertungsklassen für PM_{2,5} zu definieren. Ähnlich wie im pragmatischen Index wurden darüber hinaus die Alarm- bzw. Informationsschwellen für die obersten Klassengrenzen für alle Schadstoffe angewendet. Der Unterschied zum Vorschlag 1 besteht darin, dass alle Klassengrenzen für die anderen Schadstoffe untereinander vergleichbare Risikosteigerungen repräsentieren. Der Vorschlag des risikobasierten UBA LQI ist somit einerseits risikobasiert und gesundheitlich begründet, nutzt aber andererseits als Ankerpunkte wissenschaftlich abgeleitete Empfehlungen (WHO AQG 2021 für PM_{2,5}) in den unteren Bewertungsklassen und gesetzlich festgelegte Alarm- und Informationsschwellen in den obersten Bewertungsklassen.

Damit stellt der risikobasierte UBA LQI eine bessere Grundlage für den präventiven Gesundheitsschutz dar als der pragmatische Index. Der entscheidende Vorteil bei dem risikobasierten UBA LQI ist, dass der relative Anstieg des Risikos für Krankenhauseinweisungen

und Notfälle in jeder Klasse unabhängig davon ist, welcher Schadstoff die Klasse bestimmt. Ein potentieller Nachteil ist die komplexe Methodik zur Ableitung der risikoäquivalenten Bewertungsklassen und die zum Teil fehlende Übereinstimmung der Klassengrenzen mit normativen Werten, z. B. der WHO, was ggf. eine Kommunikation in der Öffentlichkeit erschweren kann.

5.2.2 Harmonisierung mit dem europäischen AQI

Der europäische AQI befindet sich derzeit in Überarbeitung, da auch er an die erwarteten gesetzlichen Vorgaben angepasst werden muss. Es kann daher zum Zeitpunkt der Berichterstellung für dieses Projekt noch keine abschließende Diskussion der Unterschiede und der Möglichkeiten zur Harmonisierung vorgenommen werden. Generell ist eine Harmonisierung der europäischen Indizes, also des europäischen AQI sowie der nationalen und subnationalen Indizes, extrem wünschenswert, um Widersprüche und damit Verunsicherungen bis hin zu Zweifeln an der gesundheitlichen Bedeutung von Luftverschmutzung zu vermeiden. Die Angleichung der Bewertungsskalen stellt bei der Harmonisierung verschiedener Indizes jedoch eine Herausforderung dar. Bei Nutzung der gleichen Bewertungsskala in einer großen geographischen Einheit wie Europa mit hohen Konzentrationsgradienten kann es zu sogenannten Boden- oder Deckeneffekten in kleineren geographischen Einheiten kommen. Das heißt, dass z. B. bei einer sehr eng gefassten Skala mit niedrigen Konzentrationsgrenzen zwischen den Bewertungsklassen in einer Region mit schlechter Luftqualität die Bewertungsklasse häufig oder immer „sehr schlecht“ anzeigt. In diesem Fall ist der Index jedoch keine Hilfe für die Bevölkerung und kann nicht zu einer Lenkung von gesundheitslichem Verhalten beitragen. Auf der anderen Seite könnte bei sehr breiten Bewertungsklassen, die die gesamten in Europa vorkommenden Schadstoffkonzentrationen abdecken, in Ländern mit relativ guter Luftqualität die Bewertung häufig oder immer „sehr gut“ oder „gut“ lauten. Auch diese ist nicht hilfreich, denn vor allem vulnerable Gruppen benötigen möglicherweise auch bei niedrigeren Schadstoffkonzentrationen eine Entscheidungshilfe zur Anpassung ihrer Verhaltensweise. Für Deutschland soll daher durch eine angemessene Spreizung der Bewertungsskala in den unteren Konzentrationsbereichen vermieden werden, dass der überwiegende Anteil der Bewertungen in der Kategorie „sehr gut“ und „gut“ liegt. Auf der anderen Seite soll bei der Entwicklung eines europäischen LQI vermieden werden, dass speziell in den großen Stadtzentren und in den osteuropäischen Ländern die Luftqualität durchgängig in den schlechtesten Bewertungsklassen eingruppiert wird, da hierdurch eine Warnmüdigkeit bei der Bevölkerung entsteht und keine gesundheitsrelevanten Verhaltensänderungen erzielt werden können.

Die grundlegende Konstruktion des bisherigen UBA LQI und der beiden Vorschläge entspricht der des europäischen AQI, weist jedoch einige Abweichungen auf. Unverändert finden sich Einzel-Indizes für die einzelnen Schadstoffe, die nach der gleichen Methodik zum Gesamtindex kombiniert werden (der höchste Einzelindex bestimmt den Gesamtindex). Unverändert ist ebenfalls die Farbpalette in den fünf unteren Bewertungsklassen. Wichtige Unterschiede sind die Anzahl der Bewertungsklassen, die beim europäischen AQI sechs beträgt. Die sechs Klassen sind dort sinnvoll, weil der europäische AQI, wie oben dargestellt, einen deutlich breiteren Bereich von Konzentrationen abdecken muss. Die Anzahl Schadstoffe wurde bereits in den beiden hier vorgelegten Vorschlägen für den UBA LQI an die Schadstoffpalette des europäischen AQI angepasst (fünf Schadstoffe, anstatt vier wie bisher).

Eine weitere sich auf europäischer Ebene noch in der Diskussion befindliche Eigenschaft ist der Mittelungszeitraum für die zu bewertenden Schadstoffkonzentrationen. Wie der bisherige UBA LQI basieren der europäische AQI sowie die meisten nationalen Indizes in der EU auf

gleitenden 24h-Mittelwerten für die Schadstoffe PM₁₀ und PM_{2.5}. Dies ist eine Folge der Messtechnik, denn erst seit einigen Jahren verbreitet sich bei vielen offiziellen Messstationen die Nutzung von Messinstrumenten, die die verlässliche Messung und kurzfristige Bereitstellung von stündlichen Konzentrationen ermöglichen. In den beiden Vorschlägen für den neuen UBA LQI wurde jeweils durchgängig auf eine Beurteilung der 1h-Mittelwerte umgestellt. Dies ist aus Sicht der Auftragnehmenden unabdingbar, um einen auch kurzfristigen präventiven Gesundheitsschutz zu ermöglichen.

Um eine Risikoäquivalenz für einstündige Belastungszeiträume sicherzustellen, wurden beim risikobasierten Index dafür auf Basis empirischer Daten Transformationsfaktoren berechnet. Hierfür wurden die Luftschadstoffkonzentrationen aller offizieller Messstationen in Deutschland für die Jahre 2019 und 2022 genutzt. Diese sind zunächst spezifisch für Deutschland und können bei unterschiedlichem Schadstoffmix und unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Verteilung von Schadstoffen variieren. Für eine gewünschte Harmonisierung mit einem ähnlich konstruierten europäischen AQI sind unterschiedliche Herangehensweisen für die Ableitung der Transformationsfaktoren denkbar, die vergleichend untersucht werden müssten. Hierzu gehört die Nutzung stündlicher Daten aus allen europäischen Messstationen oder die Ableitung separat für jedes Land alleinig aus nationalen Daten. Sensitivitätsanalysen mit deutschen Daten haben gezeigt, dass die spezifische Methodik zur Berechnung der Transformationsfaktoren nur eine sehr geringe Rolle bei der Ableitung der risikoäquivalenten Bewertungsklassen spielt.

5.2.3 Gesundheitliche Endpunkte bei der Indexentwicklung

Ein Luftqualitätsindex sollte im besten Fall vor nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen aller Art warnen. Bezogen auf kurzfristige Auswirkungen, die hier im Fokus stehen, gehören dazu in abnehmender Häufigkeit physiologische Veränderungen (Biomarker), Symptome wie z. B. Husten, pfeifendes Atemgeräusch oder Atemnot, eingeschränkte Organfunktionen, Medikamenteneinnahmen, Notfälle und Krankenhausaufnahmen sowie Todesfälle. Todesfälle sind offensichtlich der schlimmste mögliche Endpunkt einer erhöhten Belastung, aber auch der seltenste. Die Bevölkerung soll darüber hinaus vor den deutlich häufiger und bei niedrigeren Belastungen auftretenden Manifestationen von Erkrankungen geschützt werden, das heißt, es sollen auch vermehrte Medikamenteneinnahmen, Notfälle und Krankenhausaufnahmen verhindert werden. Diesem Ziel folgend wurden für die Entwicklung des risikobasierten Ansatzes vor allem Studien herangezogen, die Kurzzeitwirkungen von Luftschadstoffen auf Notfälle und Krankenhauseinweisungen analysiert haben. Zusätzlich wurde zur Erweiterung der Evidenzbasis auch die Gesamtsterblichkeit aufgenommen. Der risikobasierte Ansatz bezieht sich also überwiegend auf Endpunkte, die für Public Health sowohl aufgrund ihrer Häufigkeit als auch aufgrund ihrer medizinischen Bedeutung eine große Rolle spielen.

Für den risikobasierten UBA LQI wurden aus den identifizierten Übersichtsarbeiten und Metaanalysen zu Kurzzeitwirkungen von Luftschadstoffen auf Notfälle, Krankenhauseinweisungen und Gesamtsterblichkeit die Schätzer für die gesundheitlichen Wirkungen extrahiert. Diese Gesundheitsendpunkte liegen in den Studien nahezu ausschließlich mit einer zeitlichen Auflösung von maximal einem Tag vor. Zeitlich differenziertere, z. B. stündliche, Angaben zu diesen Endpunkten sind nur in sehr wenigen Studien und Studiendesigns vorhanden (z. B. in case-crossover Studien zu Herzinfarkten unter Nutzung exakter Zeitangaben des Eintritts des Infarktes). Die hier berücksichtigte Studienbasis stellt daher Schätzer für 24h- oder 48h-Mittelwerte der Luftschadstoffe dar. Dies passt zunächst nicht zu dem Ziel, den neuen Index auf stündlichen Mittelwerten zu basieren. Es wurde daher für den risikobasierten UBA LQI eine Methodik angewendet, die unter Hinzunahme von empirischen Daten eine Umrechnung der relativen Wirkstärke der einzelnen Schadstoffe vom Schätzer für

den 24h-Mittelwert auf den Schätzer für einen 1h-Mittelwert ermöglicht (siehe Abschnitt 3.2.2.5). Hierdurch können die als relevant angesehenen Endpunkte trotz fehlender zeitlicher Auflösung in den Primärstudien für die Indexentwicklung genutzt werden. Wie in den Niederlanden und in Kanada wurde für die Umrechnung der Quotient aus dem maximalen 1h-Mittelwert mit dem 24h-Mittelwert genutzt. In Sensitivitätsanalysen wurden weitere Transformationsfaktoren untersucht (99. Perzentil/24h-Mittelwert sowie weitere Perzentile). Dies hatte jedoch nur einen geringen Effekt auf die finalen Äquivalenzkoeffizienten.

Alternativ zu diesem Vorgehen hätten Schätzer für gesundheitliche Wirkungen aus Studien zu vorgelagerten Endpunkten, wie z. B. Blutdruckanstieg, Anstieg von Entzündungsmarkern, Abnahme der Lungenfunktion, etc. genutzt werden können. Diese Endpunkte liegen in Panelstudien, mit denen sie üblicherweise untersucht werden, in zeitlicher Auflösung von Minuten bis Stunden vor. Relative Wirkungen von 1-Stunden-Belastungen könnten so als Basis für die Ableitung von risikoäquivalenten Bewertungsklassen genutzt werden. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde dieser Ansatz jedoch nicht gewählt, da diese Studien oft sehr ausgewählte Studienteilnehmende untersuchen, sehr klein sind im Vergleich zu Zeitreihenanalysen für Krankenhausaufnahmen, Notfälle sowie Sterblichkeit und die Public Health Bedeutung einer akuten und transienten Veränderung dieser vorgelagerten Endpunkte nicht in allen Fällen gesichert ist.

Die Studien zu den gesundheitlichen Endpunkten wurden im risikobasierten Index dazu genutzt, risikoäquivalente Bewertungsklassen zu definieren. Beim pragmatischen Index entfällt dieser Schritt.

5.2.4 Berechnung des Äquivalenzkoeffizienten

Ein zentraler Bestandteil des risikobasierten UBA LQI ist die Berechnung von sogenannten Äquivalenzkoeffizienten, mit denen die „Gefährlichkeit“ oder „gesundheitliche Wirkstärke“ der im Index enthaltenen Schadstoffkonzentrationen in jeder Indexklasse äquivalent gemacht werden soll. Als Referenzschadstoff wird PM_{2.5} genutzt, da hierfür die meiste Evidenz zur Verfügung steht. Ziel ist es, den Faktor zu ermitteln, mit dem die Schadstoffkonzentration eines anderen Schadstoffs multipliziert werden muss, um im Mittel die gleiche Wirkung wie PM_{2.5} zu haben. Bei der finalen Festlegung der im Index genutzten Äquivalenzkoeffizienten wurde ein datenbasierter Ansatz mit Fachwissen von Expertinnen und Experten aus dem Bereich Umweltepidemiologie kombiniert.

Die Festlegung von risikoäquivalenten Bewertungsklassen ist methodisch sehr aufwendig und komplex, was ein Nachteil bei der Konstruktion des risikobasierten Index ist. Darüber hinaus sind die so ermittelten Äquivalenzkoeffizienten im Prinzip abhängig von der Evidenzlage und spiegeln damit den Kenntnisstand aus dem Jahr der Entwicklung des Index wider. Anpassungen an aktuelle Entwicklungen der Evidenzlage sind jedoch jederzeit möglich und so kann mit dem hier entwickelten risikobasierten Index schneller auf neue Studienerkenntnisse reagiert werden, als dies beim pragmatischen Index der Fall ist.

5.2.5 Berücksichtigung von besonders empfindlichen Gruppen

Bei der Entwicklung der gesundheitlichen Empfehlungen für den risikobasierten UBA LQI wurden zwei unterschiedliche Gruppen adressiert, nämlich die Allgemeinbevölkerung und besonders empfindliche Gruppen. Die Art der Empfehlungen für die Verhaltensweisen unterscheiden sich nur gering, jedoch werden sie für vulnerable Menschen bereits in einer niedrigeren Bewertungsklasse ausgesprochen. Wegen der risikoäquivalenten Bewertungsklassen für die Einzelschadstoffe sind die Empfehlungen bei gleicher

Bewertungsklasse für alle Schadstoffe einheitlich und müssen daher nicht gesondert formuliert werden.

Für den pragmatischen Index wurden keine gesundheitlichen Empfehlungen formuliert. Grundsätzlich lassen sich die Formulierungen auch für die fünf Bewertungsklassen des pragmatischen Index nutzen. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Bewertungsklassen je nach Schadstoff unterschiedliche Risikosteigerungen repräsentieren. Inwieweit eine schadstoff- und klassenspezifische Anpassung der gesundheitlichen Empfehlungen machbar und präventivmedizinisch sinnvoll ist, ist jedoch fraglich. Darüber hinaus würden solche schadstoffspezifischen Empfehlungen die Kommunikation gegenüber der Bevölkerung erheblich komplizierter machen.

5.2.6 Sensitivitätsanalysen

Durch Simulationsstudien und umfassende Sensitivitätsanalysen wurde die Robustheit der risikoäquivalenten Bewertungsklassen beim Vorschlag für den risikobasierten UBA LQI ausführlich untersucht. Bedingt durch die Methodik der Ableitung von risikoäquivalenten Bewertungsklassen aus empirischen Daten mit zentralen Schätzern und teilweise großen Konfidenzintervallen ergaben sich breite Unsicherheitsbereiche für die Äquivalenzkoeffizienten. Diese breiten Unsicherheitsbereiche spiegeln die inhärente Variabilität der Schätzungen und der relativen Wirkstärke wider und wurden deshalb bei der Festlegung der Äquivalenzkoeffizienten durch Fachwissen ergänzt. Weitere Sensitivitätsanalysen beinhalteten eine Variation der Berechnung des Transformationsfaktors für die Umrechnung von 24h-Mittelwerten auf 1h-Mittelwerte (unterschiedliche Zeiträume, unterschiedliche Indikatoren), die Aufnahme zusätzlicher gesundheitlicher Endpunkte bzw. Restriktion auf eine kleinere Zahl an Gesundheitsendpunkten für die Ableitung der relativen Wirkstärke, die Aktualisierung der Datenbasis mit Ergebnissen aus neuen Übersichtsarbeiten, die während der Projektlaufzeit veröffentlicht wurden, die Nutzung unterschiedlicher Schwellen für die oberste Klassengrenze und die Nutzung unterschiedlicher verzögerter Expositionsperioden (sogenannte „lags“) in den Primärstudien. Insgesamt zeigte sich eine hohe Robustheit der Äquivalenzkoeffizienten bei Variation der Eingangsvariablen. Eine entsprechende Überprüfung der Robustheit war beim pragmatischen Index nicht möglich bzw. erforderlich, da es hierbei keine empirisch abgeleiteten Bewertungsklassen gibt.

5.2.7 Veränderung der Rahmenbedingungen während der Projektlaufzeit

Während der Projektlaufzeit fanden mehrere Veränderungen der Rahmenbedingungen statt, die durch die Entwicklung der europäischen Luftqualitätsrichtlinie im EU-Gesetzgebungsverfahren bedingt waren. Dies betraf insbesondere die Alarm- und Informationsschwellen, die sich zwischen dem EK Entwurf 2022 und dem Trilog-Kompromiss von 2024 mehrfach geändert haben. Da sich diese Änderungen jedoch nur auf die oberste Klassengrenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ beziehen und diese Bewertungsklassen bei beiden Vorschlägen nur sehr schwach belegt sind, wirken sich diese Änderungen nur geringfügig auf die tatsächliche Verteilung der stündlichen Bewertungen aus. Alle in Kapitel 4 gezeigten Auswertungen beziehen sich auf den EK Entwurf 2022.

5.3 Empfehlungen

Auf Basis der voranstehenden Betrachtungen wird im Hinblick auf den präventiven Gesundheitsschutz empfohlen, den risikobasierten Index als künftigen LQI für Deutschland zu verwenden.

Basierend auf der Evidenz aus wissenschaftlichen Studien wurden Klassengrenzen für alle Schadstoffe mit vergleichbarer gesundheitlicher Risikosteigerung abgeleitet. Die Evidenzbasis, die zur Erreichung dieser risikoäquivalenten Bewertungsklassen genutzt wurde, bezieht sich hauptsächlich auf Krankenhausaufnahmen und Notfälle. Weil die Risikosteigerungen pro Klassenanstieg bei den einzelnen Schadstoffen gleich sind, konnten einheitliche Gesundheitsempfehlungen pro Klasse entwickelt werden. Dies erleichtert die schnelle und einfach verständliche Kommunikation an die Bevölkerung, was als zentrales Element für den Nutzen eines solchen Index angesehen wird.

Die Rückmeldungen der Vertreterinnen und Vertreter der Bundesländer, die im Rahmen des Projekts eingeholt wurden (s. Anhang E), legen nahe, dass die Bundesländer den risikobasierten Index für ihre landesspezifischen Indizes für übernahmefähig halten. Hierdurch scheint ein weiteres Element, nämlich die Harmonisierung mehrerer Indizes für ein Gebiet, zumindest für Deutschland umsetzbar zu sein.

Eine weitere Empfehlung ist die Hinzunahme des hier entwickelten Interaktionsmoduls. Hierdurch werden in der Literatur beschriebene Wechselwirkungen, die sich bisher nicht standardisiert für alle Schadstoffkombinationen quantifizieren lassen, berücksichtigt. Dieses Interaktionsmodul dient dazu, diese Wechselwirkungen grundsätzlich in einem ersten Ansatz abzubilden. Eine erneute Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung sollte erfolgen, wenn eine größere Evidenzbasis für Gesundheitseffekte aus Mehrschadstoffstudien vorliegt.

Bezüglich der Integration von SO₂ in den Index wird insofern keine Empfehlung ausgesprochen, als die Aufnahme durch die europäische Gesetzgebung voraussichtlich verbindlich geregelt sein wird. Vor dem Hintergrund der in Deutschland nur noch sehr vereinzelt und mit weiter abnehmender Tendenz erfolgenden SO₂-Messungen und aufgrund der gesicherten Einhaltung der Beurteilungsschwelle im überwiegenden Teil Deutschlands, kann allerdings nicht empfohlen werden, SO₂ in der gleichen Form wie die übrigen Stoffe in den Index zu integrieren. Denn damit würde die überwiegende Zahl der Gesamtindexwerte der Messstationen als unvollständig gekennzeichnet werden müssen (z. B. mit dem „Pac-Man“-Symbol, vgl. Abschnitt 3.1.1). Hierzu wird daher empfohlen, für Bundesländer und/oder Beurteilungsgebiete in Deutschland, für die aufgrund gesicherter Einhaltung der Beurteilungsschwelle keine Notwendigkeit der SO₂-Messung besteht, SO₂ in der Indexdarstellung in der UBA App Luftqualität und auf der Internetpräsenz des UBA nicht zu berücksichtigen bzw. für SO₂ aus diesem Grund die Klasse „sehr gut“ anzusetzen, so dass dort der Gesamtindex nicht aufgrund von nicht vorhandenen SO₂-Messungen als unvollständig dargestellt werden muss. In Bundesländern und/oder Beurteilungsgebieten, in denen noch SO₂-Messungen erfolgen, sollte SO₂ jedoch ein Bestandteil des LQI in der Form sein, wie die anderen vier Stoffe auch.

Darüber hinaus wird empfohlen, einen einheitlichen Index nicht nur in Deutschland, sondern idealerweise auch im europäischen Raum zu schaffen, wobei Boden- und Deckeneffekte sowie Warnmüdigkeit berücksichtigt werden sollten, z. B. durch Hinzunahme bzw. Weglassen oder Zusammenfassung von Randklassen.

6 Quellenverzeichnis

39. BImSchV (2020): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). In der Fassung vom 19.6.2020. BGBl. I S. 1328. 2020.

Abed Al Ahad, Mary; Sullivan, Frank; Demšar, Urška; Melhem, Maya; Kulu, Hill (2020): The effect of air-pollution and weather exposure on mortality and hospital admission and implications for further research: A systematic scoping review. In: PloS one 15 (10), e0241415. DOI: 10.1371/journal.pone.0241415.

AirKorea: Air Quality Trends. Online verfügbar unter https://www.airkorea.or.kr/eng/annualAirQualityTrends?pMENU_NO=161, zuletzt geprüft am 14.09.2023.

AirKorea: Introduction to the CAI. Korean Environment Corporation. Online verfügbar unter www.airkorea.or.kr/eng/khaiInfo?pMENU4_NO=166, zuletzt geprüft am 18.08.2023.

Anderson, H. R.; Atkinson, R. W.; Bremner, S. A.; Carrington, J.; Peacock, J. (2007): Quantitative systematic review of short term associations between ambient air pollution (particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide), and mortality and morbidity. Online verfügbar unter https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7507c2e5274a3cb2869199/dh_121202.pdf, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Atkinson, R. W.; Anderson, H. R.; Strachan, D. P.; Bland, J. M.; Bremner, S. A.; Ponce de Leon, A. (1999): Short-term associations between outdoor air pollution and visits to accident and emergency departments in London for respiratory complaints. In: The European respiratory journal 13 (2), S. 257–265. DOI: 10.1183/09031936.99.13225799.

Atkinson, R. W.; Mills, I. C.; Walton, H. A.; Kang, S.; Anderson, H. R. (2014): Systematic review and quantitative meta-analysis of the evidence for associations between chronic and short-term exposure to outdoor air pollutants and health. Online verfügbar unter https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/83970/2/DHreport_chronic_shortterm_exposure_to_outdoor_pollutants092015.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

AtmoSud. Ministère de la Transition écologique (2023): ICAIR, the cumulative air indicator. Online verfügbar unter <https://www.atmosud.org/article/icair-cumulative-air-indicator>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.

AWE (2023): Press Release: Airly calls for clarity from air quality information systems. AWE International. Online verfügbar unter <https://www.aweimagazine.com/press-release/airly-calls-for-clarity-from-air-quality-information-systems>, zuletzt geprüft am 28.07.2023.

Ayres, J.; Smallbone, K.; Holgate, S.; Fuller, G. (2011): Review of the UK air quality index. ISBN 978-0-85951-699-0: Health Protection Agency for the Committee on the Medical Effects of Air Pollutants.

Barrera, Antonio; Rezende, Leandro F. M.; Sabag, Angelo; Keating, Christopher J.; Rey-Lopez, Juan Pablo (2023): Understanding the Causes of Frailty Using a Life-Course Perspective: A Systematic Review. In: Healthcare (Basel, Switzerland) 12 (1). DOI: 10.3390/healthcare12010022.

Basagaña, Xavier; Jacquemin, Bénédicte; Karanasiou, Angeliki; Ostro, Bart; Querol, Xavier; Agis, David et al. (2015): Short-term effects of particulate matter constituents on daily hospitalizations and mortality in five South-European cities: results from the MED-PARTICLES project. In: Environment international 75, S. 151–158. DOI: 10.1016/j.envint.2014.11.011.

Begg, C. B.; Berlin, J. A. (1989): Publication bias and dissemination of clinical research. In: Journal of the National Cancer Institute 81 (2), S. 107–115. DOI: 10.1093/jnci/81.2.107.

Cao, R.; Wang, Y.; Huang, J.; et al. (2021): The construction of the air quality health index (AQHI) and a validity comparison based on three different methods: Environmental Research.

Castro, C. B.; Costa, L. M.; Dias, C. B.; Chen, J.; Hillebrandt, H.; Gardener, S. L. et al. (2023): Multi-Domain Interventions for Dementia Prevention - A Systematic Review. In: The journal of nutrition, health & aging 27 (12), S. 1271–1280. DOI: 10.1007/s12603-023-2046-2.

CHMI (2019): Stav kvality ovzduší: přehlednější, jednodušší a srozumitelná informace. Online verfügbar unter https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/TZ_Index_kvality.pdf.

CHMI. Summary Tabular Survey. Online verfügbar unter www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2022_enh/index_GB.html, zuletzt geprüft am 09.09.2023.

Colais, Paola; Faustini, Annunziata; Stafoggia, Massimo; Berti, Giovanna; Bisanti, Luigi; Cadum, Ennio et al. (2012): Particulate air pollution and hospital admissions for cardiac diseases in potentially sensitive subgroups. In: Epidemiology (Cambridge, Mass.) 23 (3), S. 473–481. DOI: 10.1097/EDE.0b013e31824d5a85.

Committee on the Medical Effects of Air Pollution (2014): The evidence for the effects of nitrogen dioxide. Online verfügbar unter https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a80c25340f0b6230269557c/COMEAP_The_evidence_for_the_effects_of_nitrogen_dioxide.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2024.

Connolly, E.; Fuller, G.; Baker, T.; Willis, P. (2013): Update on Implementation of the Daily Air Quality Index. Department for Environment: Food and Rural Affairs. Online verfügbar unter https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat14/1304251155_Update_on_Implementation_of_the_DAQI_April_2013_Final.pdf.

Cromar, K.; Lazrak, N. (2023): Risk communication of ambient air pollution in the WHO European Region: review of air quality indexes and lessons learned: World Health Organization.

Department for Environment Food; Rural Affairs: Data Archive. Online verfügbar unter <https://uk-air.defra.gov.uk/data/>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.

Dusseldorp, A.; Fischer, P. H.; Dijkema, M.B.A.; Strak, M. M. (2014): Luchtkwaliteitsindex. Aanbevelingen voor de samenstelling en duiding, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: RIVM.

Duval, S.; Tweedie, R. (2000): Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. In: Biometrics 56 (2), S. 455–463. DOI: 10.1111/j.0006-341x.2000.00455.x.

Egger, M.; Davey Smith, G.; Schneider, M.; Minder, C. (1997): Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. In: BMJ (Clinical research ed.) 315 (7109), S. 629–634. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.629.

EU (2008): Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 152, S. 1. 2008.

EU-Parlament (2024): Luftqualität und saubere Luft für Europa. Legislative Entschließung des Europäischen Parlaments vom 24. April 2024 zu dem Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftgqualität und saubere Luft für Europa (Neufassung) (COM(2022)0542 - C9 - 0364/2022 - 2022/0347(COD)). Online verfügbar unter [https://www.europarl.europa.eu/RegData/seance_pleniere/textes_adoptes/definitif/2024/04-24/0319/P9_TA\(2024\)0319_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/seance_pleniere/textes_adoptes/definitif/2024/04-24/0319/P9_TA(2024)0319_DE.pdf), zuletzt geprüft am 06.08.2024.

Europäische Kommission (2022): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Online verfügbar unter [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2022/0542/COM_COM\(2022\)0542_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2022/0542/COM_COM(2022)0542_DE.pdf), zuletzt geprüft am 24.04.2024.

European Environment Agency (2020): Air Quality in Europe. No 09/2020. ISSN 1977-8449. Online verfügbar unter www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report.

European Environment Agency (2021): European Air Quality Index. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>, zuletzt geprüft am 16.08.2023.

European Environment Agency (2024): Europe's air quality status 2024, 2024. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>, zuletzt geprüft am 06.08.2024.

European Environment Agency: Air quality in Europe 2021. Health impacts of air pollution in Europe. Online verfügbar unter www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution, zuletzt geprüft am 08.10.2023.

European Environment Agency: Exceedance of air quality standards in Europe. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.

European Respiratory Society (2023): The burden of lung disease - Overview. Online verfügbar unter <https://www.ersnet.org/wp-content/uploads/2023/01/Overview.pdf>, zuletzt geprüft am 11.04.2024.

Federal Statistical Office (2023): Capitel of diagnosis 2022. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Health/Hospitals/Tables/capitel-diagnosis-gender.html>, zuletzt aktualisiert am 18.12.2023, zuletzt geprüft am 06.08.2024.

Fraser, A.; Loader, A.; Pang, Y.; Stewart, R.; Xiao, X.; Whitehead, C. (2016): Services to develop an EU Air Quality Index: EEA Air Quality Index Final Report.

Fuller, R.; Landrigan, P. J.; Balakrishnan, K.; Bathan, G. (2022): Pollution and health: a progress update: The Lancet Planetary Health.

GRADE | Cochrane Deutschland (2024). Online verfügbar unter <https://www.cochrane.de/ressourcen/grade>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Griem, P.; Kalberlah, F., FoBiG Freiburg: Rost, J.; Mayer, H. (2000): Ableitung eines tages- und wirkungsbezogenen Luftqualitätsindexes.

Griem, P.; Schumacher-Wolz, U.; Kalberlah, F.; FoBiG Freiburg (2001): Anpassung des abgeleiteten tages- und wirkungsbezogenen Luftqualitätsindex an die Tochterrichtlinien der EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG vom 27.9.1996.

Health Canada. Health Impacts of Air Pollution in Canada. Estimates of morbidity and premature mortality outcomes, 2019. Online verfügbar unter https://publications.gc.ca/collections/collection_2019/sc-hc/H144-51-2019-eng.pdf.

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 (2013): World Health Organization. Online verfügbar unter <https://apps.who.int/iris/handle/10665/153692>.

Hong Kong EPD (2023): Latest annual AQI. Online verfügbar unter <https://www.aqhi.gov.hk/en/annual-aqi/latest-annual-aqi.html>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Hooyberghs, H.; Craemer, S. de; Lefebvre, W.; Vranckx, S.; Maiheu, B.; Trimpeneers, E. et al. (2022): Validation and optimization of the ATMO-Street air quality model chain by means of a large-scale citizen-science dataset: Atmospheric Environment (272).

Hůnová, Iva; Malý, Marek; Řezáčová, Jana; Braniš, Martin (2013): Association between ambient ozone and health outcomes in Prague. In: International archives of occupational and environmental health 86 (1), S. 89–97. DOI: 10.1007/s00420-012-0751-y.

irCELine (2022a): Annual index. Online verfügbar unter <https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index-november-2022/lorem-ipsam>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

irCELine (2022b): Proposal for a new air quality index, June 2022. Internal Document.

- irCELine: ATMO-Street (RIO-IFDM-OSPM). Online verfügbar unter <https://www.irceline.be/nl/documentatie/modellen/atmo-street>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.
- irCELine: BelAQI Information. Online verfügbar unter https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index-november-2022/info_nov2022, zuletzt geprüft am 17.07.2023.
- Jalaludin, B.; Cowie, C. (2012): Health Risk Assessment – Preliminary Work to Identify Concentration-Response Functions for Selected Ambient Air Pollutants: Woolcock Institute of Medical Research. Online verfügbar unter www.nepc.gov.au/sites/default/files/2022-09/health-report.pdf.
- König Minger, A.; Steiger, M.; Ballmann, R.; Federer, P. (2020): Empfehlung Nr. 27a. Kurzzeit Luftbelastungs-Index: Cercl Air. Schweizerische Gesellschaft der Luft-hygiene-Fachleute.
- Kumar, P. (2022): A critical evaluation of air quality index models (1960-2021): Environ. Monit. Assess.
- Lei, Ruoyuan; Nie, Dongyang; Zhang, Shumeng; Yu, Wanning; Ge, Xinlei; Song, Ninghui (2022): Spatial and temporal characteristics of air pollutants and their health effects in China during 2019-2020. In: Journal of environmental management 317, S. 115460. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115460.
- Li, Jiachen; Liang, Lirong; Lyu, Baolei; Cai, Yutong Samuel; Zuo, Yingting; Su, Jian; Tong, Zhaohui (2023): Double trouble: The interaction of PM2.5 and O3 on respiratory hospital admissions. In: Environmental pollution (Barking, Essex : 1987) 338, S. 122665. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122665.
- Loader, A.; Pang, Y.; Stewart, R. (2016): Services to develop an EU Air Quality Index and a Specific Source Pollution (Smog) Index. First Interim report: European Commission DG ENV %@BOOKGriem01.
- Luftqualitätsindex Baden-Württemberg, Aktualisierung für das Jahr 2020 (2020). Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/10100>.
- Ma, Yiqun; Nobile, Federica; Marb, Anne; Dubrow, Robert; Stafoggia, Massimo; Breitner, Susanne et al. (2024): Short-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Nitrogen Dioxide and Mortality in 4 Countries. In: JAMA Netw Open 7 (3), e2354607. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.54607.
- Mauderly, Joe L.; Samet, Jonathan M. (2009): Is there evidence for synergy among air pollutants in causing health effects? In: Environmental health perspectives 117 (1), S. 1–6. DOI: 10.1289/ehp.11654.
- Medina, S.; Le Tertre, A.; Quénel, P.; Le Moulec, Y.; Lameloise, P.; Guzzo, J. C. et al. (1997): Air pollution and doctors' house calls: results from the ERPURS system for monitoring the effects of air pollution on public health in Greater Paris, France, 1991-1995. Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine pour la Santé. In: Environmental research 75 (1), S. 73–84. DOI: 10.1006/enrs.1997.3773.
- Miljodirektoratet: Fagbrukertjeneste for luftkvalitet. Online verfügbar unter <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/fagbrukertjeneste-for-luftkvalitet/>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020): Boletín oficial del estado Núm. 242. BOE-A-2020-10426. Online verfügbar unter [https://www.boe.es/eli/es/res/2020/09/02/\(1\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2020/09/02/(1)).
- Mongredien, Y. C.; Flambard, C.; Guillaume, D.; Le Paih, J. (2020): Indice ATMO. Guide de calcul en application de l'arrêté du 10 juillet 2020: ATMO France. Online verfügbar unter https://www.airpl.org/sites/default/files/reports/guide_calcul_nouvel_indice_ATMO_VF_version14decembre2020%281%29.pdf.
- Mustafic, Hazrije; Jabre, Patricia; Caussin, Christophe; Murad, Mohammad H.; Escolano, Sylvie; Tafflet, Muriel et al. (2012): Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. In: JAMA 307 (7), S. 713–721. DOI: 10.1001/jama.2012.126.
- National Environment Protection Council (2021): Federal Register of Legislation - National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure Variation Instrument 2021. Online verfügbar unter

<https://www.legislation.gov.au/F2021L00585/latest/text>, zuletzt aktualisiert am 17.05.2024, zuletzt geprüft am 17.05.2024.

National Institute of Environmental Health Sciences (2024): Health Assessment and Translation, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Nazelle, Audrey de; Nieuwenhuijsen, Mark J.; Antó, Josep M.; Brauer, Michael; Briggs, David; Braun-Fahrlander, Charlotte et al. (2011): Improving health through policies that promote active travel: a review of evidence to support integrated health impact assessment. In: *Environment international* 37 (4), S. 766–777. DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.003.

NSW Department of Planning; Environment: Data download facility. Online verfügbar unter <https://www.dpie.nsw.gov.au/air-quality/air-quality-data-services/data-download-facility>, zuletzt geprüft am 12.09.2023.

Orellano, Pablo; Reynoso, Julieta; Quaranta, Nancy (2021): Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. In: *Environment international* 150, S. 106434. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106434.

Orellano, Pablo; Reynoso, Julieta; Quaranta, Nancy; Bardach, Ariel; Ciapponi, Agustin (2020): Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. In: *Environment international* 142, S. 105876. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105876.

Plume Labs by AccuWeather: Plume AQI: An Air Quality Index aligned with health recommendations 2023 update.

Richtlinie 2008/50/EG (2008): Amtsblatt der Europäischen Union (21).

Ru, Muye; Shindell, Drew; Spadaro, Joseph V.; Lamarque, Jean-François; Challapalli, Ariyani; Wagner, Fabian; Kiese Wetter, Gregor (2023): New concentration-response functions for seven morbidity endpoints associated with short-term PM_{2.5} exposure and their implications for health impact assessment. In: *Environment international* 179, S. 108122. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108122.

Samoli, E.; Aga, E.; Touloumi, G.; Nisiotis, K.; Forsberg, B.; Lefranc, A. et al. (2006): Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. In: *The European respiratory journal* 27 (6), S. 1129–1138. DOI: 10.1183/09031936.06.00143905.

Schouten, J. P.; Vonk, J. M.; Graaf, A. de (1996): Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease: results of the APHEA project in two major cities in The Netherlands, 1977-89. In: *Journal of epidemiology and community health* 50 Suppl 1 (Suppl 1), s22-9. DOI: 10.1136/jech.50.suppl_1.s22.

Schweizerisches Tropen- und Public-Health-Institut (2024): HealthEffects. Online verfügbar unter <https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/healtheffects>, zuletzt aktualisiert am 11.04.2024, zuletzt geprüft am 11.04.2024.

Sicard, P.; Lesne, O.; Alexandre, N.; Mangin, A.; Collomp, R. (2011): Air quality trends and potential health effects-development of an aggregate risk index: *Atmospheric Environment*.

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (2023): Erläuterungen und Hinweise zu den Daten des Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN). Version V2.7.

Stafoggia, Massimo; Schneider, Alexandra; Cyrys, Josef; Samoli, Evangelia; Andersen, Zorana Jovanovic; Bedada, Getahun Bero et al. (2017): Association Between Short-term Exposure to Ultrafine Particles and Mortality in Eight European Urban Areas. In: *Epidemiology (Cambridge, Mass.)* 28 (2), S. 172–180. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000599.

Stieb, D. M.; Burnett, R. T.; Smith-Doiron M. (2008): A New Multipollutant, No-Threshold Air Quality Health Index Based on Short-Term Associations Observed in Daily Time-Series Analyses: J Air Waste Manage.

Tan, Y.; Han, S.; Chen, Y.; Wu, Z.; Lee, S. (2023): Long-term variation and evaluation of air quality across Hong Kong: J Environ Sci.

Tobollik, M.; Mücke, H-G.; Straff, W. (2021): Eine umweltmedizinische Begründung für die Bewertungsklassen und Beurteilungs-Schwellenwerte des Luftqualitätsindex (LQI) des Umweltbundesamtes: UMID.

Tomášková, Hana; Tomášek, Ivan; Šlachťová, Hana; Polaufová, Pavla; Šplíchalová, Anna; Michalík, Jiří et al. (2016): PM10 Air Pollution and Acute Hospital Admissions for Cardiovascular and Respiratory Causes in Ostrava. In: Central European journal of public health 24 Suppl, S33-S39. DOI: 10.21101/cejph.a4538.

UBA (2023): Luftqualität 2022. Vorläufige Auswertung. Umweltbundesamt.

Umweltbundesamt: Berechnungsgrundlagen Luftqualitätsindex. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/berechnungsgrundlagen-luftqualitaetsindex>, zuletzt geprüft am 16.07.2023.

United States Environmental Protection Agency (2018): Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality. EPA 454/B-18-007. Online verfügbar unter www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf.

United States Environmental Protection Agency: Air Data: Pre-Generated Data Files. Online verfügbar unter https://aqs.epa.gov/aqsweb/airdata/download_files.html, zuletzt geprüft am 09.09.2023.

US EPA (2015): Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants, zuletzt aktualisiert am 05.02.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

US EPA (2024a): Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen. Online verfügbar unter <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310879>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

US EPA (2024b): Integrated Science Assessment for Particulate Matter. Online verfügbar unter <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

US EPA (2024c): Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides. Online verfügbar unter <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=338596>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Vlasáková, L.; Škáchová H. (2022): Data collection, processing and evaluation systems in 2021: Czech Hydrometeorological Institute. Online verfügbar unter <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/154.pdf>.

WHO (2023): Risk communication of ambient air pollution in the WHO European Region: review of air quality indexes and lessons learned. In: World Health Organization, 17.02.2023. Online verfügbar unter <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-EURO-2023-6885-46651-67825>, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

WHO Air quality guidelines. for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 (2006).

WHO Global Air Quality Guidelines Working Group on Certainty of Evidence Assessment (2020): Approach to assessing the certainty of evidence from systematic reviews informing WHO global air quality guidelines. Online verfügbar unter <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0160412020318316-mm4.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2024.

WHO Global Air Quality Guidelines Working Group on Risk of Bias Assessment (2021): Risk of bias assessment instrument for systematic reviews informing WHO Global Air Quality Guidelines. World Health Organization. Regional Office for Europe (WHO/EURO:2020-5556-45321-64864). Online verfügbar unter <https://iris.who.int/handle/10665/341717>.

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

WHO Regional Office for Europe (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. Online verfügbar unter https://www.swisstph.ch/fileadmin/user_upload/SwissTPH/Institute/Ludok/WHO2013_HRAPIE_Bericht.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

Wilson, Adam M.; Wake, Cameron P.; Kelly, Tom; Salloway, Jeffrey C. (2005): Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: an ecological time-series study. In: Environmental research 97 (3), S. 312–321. DOI: 10.1016/j.envres.2004.07.010.

WorkGovHK. Environmental Protection Department: Frequently Asked Questions. The New AQHI System – Purpose and Use. Online verfügbar unter <https://www.aqhi.gov.hk/en/what-is-aqhi/faqs.html>, zuletzt geprüft am 19.08.2023.

World Health Organization (2018): More active people for a healthier world. Global action plan on physical activity 2018-2030. Geneva: World Health Organization (Let's be active). Online verfügbar unter <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272722/9789241514187-eng.pdf>, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

Zee, S. C.; van der, Walda I.C. (2008): GGD-richtlijn medische milieukunde. Luchtkwaliteit en gezondheid: RIVM Rapport 609330008.

Zheng, Xue-Yan; Ding, Hong; Jiang, Li-na; Chen, Shao-wei; Zheng, Jin-ping; Qiu, Min et al. (2015): Association between Air Pollutants and Asthma Emergency Room Visits and Hospital Admissions in Time Series Studies: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: PloS one 10 (9), e0138146. DOI: 10.1371/journal.pone.0138146.

Zheng, Xue-Yan; Orellano, Pablo; Lin, Hua-Liang; Jiang, Mei; Guan, Wei-Jie (2021): Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis. In: Environment international 150, S. 106435. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106435.

A Literaturrecherche - Weitere LQI

Tabelle 46 zeigt die Liste der LQI, die bei der Literaturrecherche gefunden, aber nicht für die detaillierte Analyse ausgewählt wurden.

Tabelle 46: Überblick über die LQI, die nicht für die nähere Betrachtung ausgewählt wurden

Land/ Region	Einfacher oder kombi- nierter LQI	Sind Gesundheits- empfehlungen inbegriffen?	URL
Albanien	Kombiniert	Nicht gefunden	https://greenlungs.al/
Australien, NT	Kombiniert	Ja	http://ntepea.webhop.net/
Australien, Queensland	Kombiniert	Ja	https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-monitoring/air-quality-categories
Österreich	Einfach	Nein	https://luft.umweltbundesamt.at/pub/gmap/start.html
Österreich, Wien	Einfach	Ja	https://www.wien.gv.at/ma22-lgb/luftwl.htm
Weißrussland	Einfach	Nein	https://rad.org.by/monitoring/air.html
China, Peking	Kombiniert	Ja	http://www.cnemc.cn/en/ http://zx.bjmemc.com.cn/?timestamp=1680372041007
China, Schanghai	Kombiniert	Nicht gefunden	https://sthj.sh.gov.cn/
China	Nicht gefunden	Nicht gefunden	https://www.transportpolicy.net/standard/china-air-quality-standards/
Kroatien	Kombiniert	Ja	http://iszz.azo.hr/iskzl/
Zypern	Einfach	Nein	https://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/graphs
Estland	Kombiniert	Nein	http://airviro.klab.ee/en
Finnland	Kombiniert	Ja	https://en.ilmatieenlaitos.fi/air-quality-index
Deutschland, Bayern	Einfach	Nein	https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/messwerte/index.htm
Deutschland, Bremen	Kombiniert	Nein	https://luftmessnetz.bremen.de/lqi
Deutschland, Hamburg	Kombiniert	Nein	https://luft.hamburg.de/
Deutschland, Niedersachsen	Kombiniert	Ja	https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/luftqualitat
Deutschland, Nordrhein- Westfalen	Einfach	Nein	https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft
Deutschland, Sachsen	Kombiniert	Nein	https://www.luft.sachsen.de/luftqualitatsindex-15024.html

Land/ Region	Einfacher oder kombi- nierter LQI	Sind Gesundheits- empfehlungen inbegriffen?	URL
Deutschland, Sachsen- Anhalt	Kombiniert	Nein	https://www.luesa.sachsen-anhalt.de/luesa-web/
Deutschland, Thüringen	Kombiniert	Ja	https://tlubn.thueringen.de/umweltschutz/immissionsschutz/immis
Georgien	Kombiniert	Ja	https://air.gov.ge/
Griechenland	Kombiniert	Ja	http://airlab.edu.gr/
Ungarn	Kombiniert	Ja	https://legszennyezettseg.met.hu/en/air-quality/aq-index-information
Indien	Kombiniert	Ja	http://safari.tropmet.res.in/AQI-47-12-Details
Italien	Einfach	Nein	https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/report-aria
Italien	Kombiniert	Nein	https://monika.dii.unipi.it/
Japan	Einfach	Nein	https://soramame.env.go.jp/
Lettland	Kombiniert	Nein	http://gmsd.riga.lv/
Litauen	Kombiniert	Ja	https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-kokybes-statistika-ir-duomenys
Malta	Kombiniert	Nein	https://era.org.mt/air-quality-widget/
Neuseeland	Einfach	Nein	https://www.lawa.org.nz/explore-data/air-quality/
Polen	Kombiniert	Ja	https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current
Polen, Danzig	Kombiniert	Ja	https://armaag.gda.pl/en/results.htm
Polen, Pommersche Region	Kombiniert	Nein	https://airpomerania.pl/indeks-jakosci-powietrza.html
Portugal	Kombiniert	Nein	https://qualar.apambiente.pt/indices
Rumänien	Kombiniert	Nein	https://calitateaer.ro/public/monitoring-page/quality-indices-page/?__locale=en
San Marino	Kombiniert	Nein	https://www.iss.sm/on-line/home/dipartimento-prevenzione/upav---ufficio-prevenzione-ambiente-e-vigilanza-del-territorio/dati-ambientali/aria.html
Singapur	Kombiniert	Ja	https://www.haze.gov.sg/#2
Spanien	Kombiniert	Nein	http://www.bsc.es/caliope/en

Land/ Region	Einfacher oder kombi- nierter LQI	Sind Gesundheits- empfehlungen inbegriffen?	URL
Spanien, Barcelona	Kombiniert	Nein	https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/en
Spanien, Katalonien	Kombiniert	Nein	https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire
Schweden	Kombiniert	Ja	https://www.smhi.se/data/miljo/luftwebb/
Schweiz, Osten	Kombiniert	Ja	https://www.ostluft.ch
Schweiz, italienisch	Kombiniert	Ja	https://www.oasi.ti.ch/web/dati/aria.html
Türkei	Kombiniert	Ja	https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality
U.K.	Kombiniert	Ja	https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info
Global (AirMatters)	Kombiniert	Ja	https://air-matters.com/
Global (Airveda)	Kombiniert	Ja	https://www.airveda.com/
Global (PurpleAir)	Kombiniert	Ja	https://www2.purpleair.com/

B Alternative Berechnung der Äquivalenzkoeffizienten

Es wurde eine alternative Methode zur Berechnung von Äquivalenzkoeffizienten für Schadstoffe untersucht, bei der ein gewichteter Durchschnitt verwendet wird. Diese Gewichte wurden auf der Grundlage des Anteils ausgewählter Gesundheitszustände in der deutschen Krankenhauseinweisungsstatistik ermittelt. Die Sterblichkeit wurde aufgrund der inhärenten Unvergleichbarkeit mit den Morbiditätsergebnissen und der Komplexität der Unterscheidung zwischen Tod, Tod während des Krankenhausaufenthalts und Krankenhausaufenthalt mit Entlassungsdiagnosen von der Berechnung ausgeschlossen.

Die Gewichtsrechnungen wurden aus der amtlichen Krankenhausstatistik des Statistischen Bundesamtes abgeleitet (Federal Statistical Office 2023). Im Jahr 2022 gab es 2537301 Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen (Diagnosen I00-I99 ICD -10) und 1130202 wegen respiratorischer Erkrankungen (Diagnosen J00-J99 ICD -10). Betrachtet man nur diese beiden Ergebnisse, so betrug ihr relativer Anteil 69.2 % bzw. 30.8 %. Darüber hinaus machten die Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma nur 0.6 % aller Einweisungen und 9 % der Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegserkrankungen aus (European Respiratory Society 2023). Durch die Aufnahme von Asthma in die Ergebnisliste wurden die Gewichte auf 69.2 % für Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen, 28.2 % für Krankenhauseinweisungen wegen respiratorischer Erkrankungen und 2.6 % für Notfallaufnahmen oder Krankenhauseinweisungen wegen Asthma angepasst. Anschließend wurden diese Gewichte mit dem Äquivalenzkoeffizienten pro Schadstoff für die einzelnen Endpunkte multipliziert, woraus sich ein gewichteter Durchschnitt über alle Endpunkte hinweg ergab.

Die Anwendung dieser Gewichtungen auf die Äquivalenzkoeffizienten ergab deutlich höhere Koeffizienten für NO_2 , SO_2 und O_3 im Vergleich zu PM_{10} . Dies rührt daher, dass es keinen bestätigten Zusammenhang zwischen diesen Schadstoffen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen gibt und die respiratorischen Erkrankungen im Verhältnis zu den kardiovaskulären Erkrankungen deutlich seltener vorkommen. So spielen beispielsweise Schadstoffe wie SO_2 , für den ein kausaler Zusammenhang nur mit Asthma nachgewiesen wurde, aufgrund der geringen Prävalenz von Asthmapatient*innen eine relativ geringe Rolle im gesamten Gesundheitssystem. Der Äquivalenzkoeffizient wird durch die Gewichtung mit 53.77 berechnet, während der Äquivalenzkoeffizient für PM_{10} 1.7 beträgt. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass SO_2 für das Gesundheitssystem 54-mal weniger wichtig ist als $\text{PM}_{2.5}$, da die relative Rate der Asthmaeinweisungen im Vergleich zu Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulären Erkrankungen gering ist.

Dieser Ansatz spiegelt die Prävalenz bestimmter Krankheiten innerhalb der Bevölkerung wider. Er legt den Schwerpunkt auf eine bevölkerungsbezogene Perspektive und betont die Bedeutung der Ergebnisse für das Gesundheitssystem und nicht für das exponierte Individuum. Auch wenn dieser Ansatz für die Zuweisung von Ressourcen im Gesundheitswesen von Nutzen sein kann, halten wir diesen Ansatz für die Nutzung in einem Index, der Empfehlungen zum individuellen Verhalten geben soll, für nicht geeignet. Deshalb wurde diese Art der Ableitung von schadstoffspezifischen Äquivalenzkoeffizienten nicht in die UBA LQI Ableitung aufgenommen.

C Beispiele für Gesundheitsempfehlungen

Tabelle 47: Gesundheitsempfehlungen in den ausgewählten LQI

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
-	Deutschland	Sehr gut	Beste Voraussetzungen, um sich ausgiebig im Freien aufzuhalten.	
		Gut	Genießen Sie Ihre Aktivitäten im Freien, gesundheitlich nachteilige Wirkungen sind nicht zu erwarten.	
		Mäßig	Kurzfristige nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit sind unwahrscheinlich. Allerdings können Effekte durch Luftschadstoffkombinationen und bei langfristiger Einwirkung des Einzelstoffes nicht ausgeschlossen werden. Zusätzliche Reize, z. B. ausgelöst durch Pollenflug, können die Wirkung der Luftschadstoffe verstärken, so dass Effekte bei empfindlichen Personengruppen (z. B. Asthmatikern) wahrscheinlicher werden.	
		Schlecht	Bei empfindlichen Menschen können nachteilige gesundheitliche Wirkungen auftreten. Diese sollten körperlich anstrengende Tätigkeiten im Freien vermeiden. In Kombination mit weiteren Luftschadstoffen können auch weniger empfindliche Menschen auf die Luftbelastung reagieren.	
		Sehr schlecht	Negative gesundheitliche Auswirkungen können auftreten. Wer empfindlich ist oder vorgeschädigte Atemwege hat, sollte körperliche Anstrengungen im Freien vermeiden.	
1	Australien (NSW)	Good	NO CHANGE needed to your normal outdoor activities.	NO CHANGE needed to your normal outdoor activities.
		Fair	NO CHANGE needed to your normal outdoor activities.	REDUCE outdoor physical activity if you develop symptoms such as cough or shortness of breath. Consider closing windows and doors until outdoor air quality is better. Follow the treatment plan recommended by your doctor. If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see your doctor. In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance.
		Poor	REDUCE outdoor physical activity if you develop symptoms such as cough or shortness of breath.	AVOID outdoor physical activity if you develop symptoms such as cough or shortness of breath. When indoors, close windows and doors until outdoor air quality is better. Follow the treatment plan recommended by your doctor. If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
3	Kanada			your doctor. In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance.
		Very poor	<p>AVOID outdoor physical activity if you develop symptoms such as cough or shortness of breath. When indoors, close windows and doors until outdoor air quality is better.</p> <p>If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see your doctor. In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance.</p>	<p>STAY INDOORS as much as possible with windows and doors closed until outdoor air quality is better. If you feel that the air in your home is uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (such as an air-conditioned building like a library or shopping centre) if it is safe to do so.</p> <p>Actively monitor symptoms and follow the treatment plan recommended by your doctor. If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see your doctor. In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance</p>
		Extremely poor	<p>STAY INDOORS as much as possible with windows and doors closed until outdoor air quality is better. If you feel that the air in your home is uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (such as an air-conditioned building like a library or shopping centre) if it is safe to do so. If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see your doctor.</p> <p>In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance.</p>	<p>STAY INDOORS with windows and doors closed until outdoor air quality is better and reduce indoor activity. If you feel that the air in your home is uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (such as an air-conditioned building like a library or shopping centre) if it is safe to do so.</p> <p>Actively monitor symptoms and follow the treatment plan recommended by your doctor. If you are concerned about symptoms call the 24-hour HealthDirect helpline on 1800 022 222 or see your doctor. In a health emergency, call triple zero (000) for an ambulance.</p>
		Low	Ideal air quality for outdoor activities.	Enjoy your usual outdoor activities.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Moderate	No need to modify your usual outdoor activities unless you experience symptoms such as coughing and throat irritation.	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you are experiencing symptoms.
		High	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also take it easy.
		Very high	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors, especially if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.	Avoid strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also avoid outdoor physical exertion.
4	Tschechi- sche Repu- blik	Very good to good (Velmi dobrá až dobrá)	1A Ideal conditions for being outside. 1B Outdoor activities without restrictions.	1A Ideal conditions for being outside. 1B Outdoor activities without restrictions.
		Acceptable (Příjemná)	2A Outdoor activities without restrictions. 2B There is no need to change your usual outdoor activities.	2A It may represent a small risk of problems for a very small number of people who are extremely sensitive to air pollution. There is no need to change your usual outdoor activities unless you experience symptoms such as cough and throat irritation. 2B Consider reducing or postponing/ relocating strenuous outdoor activities, especially if your health worsens or symptoms such as cough and sore throat develop.
		Poor to very poor (Zhoršená až špatná)	3A Consider reducing or delaying/relocating strenuous outdoor activity if symptoms such as cough and throat irritation occur. 3B Limit or postpone strenuous outdoor activities, especially if you notice any unpleasant sensations and symptoms such as throat irritation, burning eyes, cough, etc.	3A Limit strenuous activities especially outdoors, especially if your health worsens or symptoms such as cough and throat irritation appear. Asthmatics and people with chronic diseases may need more frequent use of the reliever medicine. All the elderly and children should limit physical activity. 3B Reduce your time outside and avoid physical exertion. Asthmatics and people with chronic diseases may need more frequent use of the reliever medicine.
5	Europa	Good	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities.	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
6	Frankreich	Fair	Enjoy your usual outdoor activities	Enjoy your usual outdoor activities
		Moderate	Enjoy your usual outdoor activities	Consider reducing intense outdoor activities, if you experience symptoms.
		Poor	Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat	Consider reducing physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms.
		Very poor	Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat	Reduce physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms.
		Extremely poor	Reduce physical activities outdoors.	Avoid physical activities outdoors.
		Bon (good)	Physical activities: - Enjoy your usual activities - Prefer parks, pedestrian precinct and low-traffic streets For your outdoor activities	Enjoy outdoor activities. In the case of respiratory or cardiovascular discomfort, ask a health expert for advice. Do not worsen the effect of air pollution by combining it with other irritating factor (tobacco, solvent, smoking chemicals, pollen etc.) In urban areas, the use of anti-pollution masks does not reduce the impact of air pollution on health.
		Moyen (moderate)	- Engage in outdoor sport after rain shower in order to reduce effect of air pollution on your health	
		Dégradé (degraded)	Indoor air: - Air 10 to 15 minutes twice a day - Airing and ventilating is the most effective way to improve your indoor air quality.	
		Mauvais (bad)	Physical activities: - Reduce intensive physical activities (competitive sport, marathon). - Moderate sport activities can be continued.	
		Très mauvais (very bad)	Indoor air: - In spite of air pollution, air 10 to 15 minutes twice a day - Airing and ventilating is the	

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
9	Hongkong	Extrême- ment mauvais (extremely bad)	most effective way to improve your indoor air quality. - In spite of air pollution, continue to air out residency places at least 10 minutes per day in winter as well as in summer.	
		Low	No response action is required.	People with existing heart or respiratory illnesses: No response action is required. Children and the Elderly: No response action is required.
		Moderate	No response action is required.	People with existing heart or respiratory illnesses: No response action is normally required. Individuals who are experiencing symptoms are advised to consider reducing outdoor physical exertion. Children and the Elderly: No response action is required.
		High	No response action is required.	People with existing heart or respiratory illnesses are advised to reduce outdoor physical exertion, and to reduce the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic. They should also seek advice from a medical doctor before participating in sport activities and take more breaks during physical activities. Children and the elderly are advised to reduce outdoor physical exertion, and to reduce the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic.
		Very high	The general public is advised to reduce outdoor physical exertion, and to reduce the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic.	People with existing heart or respiratory illnesses are advised to reduce to the minimum outdoor physical exertion, and to reduce to the minimum the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic. Children and the elderly are advised to reduce to the minimum outdoor physical exertion, and to reduce to the minimum the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Serious	The general public is advised to reduce to the minimum outdoor physical exertion, and to reduce to the minimum the time of their stay outdoors, especially in areas with heavy traffic.	People with existing heart or respiratory illnesses are advised to avoid outdoor physical exertion, and to avoid staying outdoors, especially in areas with heavy traffic. Children and the elderly are advised to avoid outdoor physical exertion, and to avoid staying outdoors, especially in areas with heavy traffic.
10	Irland	Good	Enjoy your usual outdoor activities.	Enjoy your usual outdoor activities.
		Fair	Enjoy your usual outdoor activities.	Adults and children with lung problems, and adults with heart problems, who experience symptoms, should consider reducing strenuous physical activity, particularly outdoors.
		Poor	Anyone experiencing discomfort such as sore eyes, cough or sore throat should consider reducing activity, particularly outdoors.	Adults and children with lung problems, and adults with heart problems, should reduce strenuous physical activity, particularly outdoors, and particularly if they experience symptoms. People with asthma may find they need to use their reliever inhaler more often. Older people should also reduce physical exertion.
		Very poor	Reduce physical exertion, particularly outdoors, especially if you experience symptoms such as cough or sore throat.	Adults and children with lung problems, adults with heart problems, and older people, should avoid strenuous physical activity. People with asthma may find they need to use their reliever inhaler more often.
11	Luxemburg	Excellent	Die Luftqualität ist gut und stellt keine oder eine geringe Gefahr für die Gesundheit dar.	Die Luftqualität ist gut und stellt keine oder eine geringe Gefahr für die Gesundheit dar.
		Très bon (sehr gut)		
		Bon (gut)	Sportliche Betätigung für gesunde Personen: Profitieren Sie von Ihren Aktivitäten im Freien.	Sportliche Betätigung für empfindliche Bevölkerungsgruppen: Profitieren Sie von Ihren Aktivitäten im Freien.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Assez bon (relativ gut)	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, die allgemeine Bevölkerung ist aber im Normalfall nicht betroffen.</p> <p>Sportliche Betätigung für gesunde Personen: Profitieren Sie von Ihren Aktivitäten im Freien, aber bleiben Sie wachsam.</p>	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, für die empfindlichen Bevölkerungsgruppen kann dies negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben (Reizungen: Nase, Augen, Hals, Lungen; Atemlosigkeit; stärkere und vermehrte Asthmaanfälle; ...).</p> <p>Sportliche Betätigung für empfindliche Bevölkerungsgruppen: Wenn Sie Aktivitäten im Freien ausüben und Herz-Kreislauf-Probleme verspüren (Atemlosigkeit, Herzrasen), wird Ihnen dazu geraten Ihre Anstrengungen einzuschränken und die Dauer Ihrer Aufenthalte im Freien zu verkürzen und, gegebenenfalls, Ihren Arzt zu kontaktieren</p>
		Moyen (durchschnittlich)	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, die allgemeine Bevölkerung ist aber im Normalfall nicht betroffen.</p> <p>Sportliche Betätigung für gesunde Personen: Profitieren Sie von Ihren Aktivitäten im Freien, aber bleiben Sie wachsam.</p>	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, für die empfindlichen Bevölkerungsgruppen kann dies negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben (Reizungen: Nase, Augen, Hals, Lungen; Atemlosigkeit; stärkere und vermehrte Asthmaanfälle; ...).</p> <p>Sportliche Betätigung für empfindliche Bevölkerungsgruppen: Wenn Sie Aktivitäten im Freien ausüben und Herz-Kreislauf-Probleme verspüren (Atemlosigkeit, Herzrasen), wird ihnen dazu geraten Ihre Anstrengungen einzuschränken und die Dauer Ihrer Aufenthalte im Freien zu verkürzen und, gegebenenfalls, Ihren Arzt zu kontaktieren.</p>
		Médiocre (mäßig) Très médiocre (sehr mittel- mäßig)	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, die allgemeine Bevölkerung ist aber im Normalfall nicht betroffen.</p> <p>Sportliche Betätigung für</p>	<p>Die Luftqualität verschlechtert sich, für die empfindlichen Bevölkerungsgruppen kann dies negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben (Reizungen: Nase, Augen, Hals, Lungen;</p>

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Mauvais (schlecht)	gesunde Personen: Profitieren Sie von Ihren Aktivitäten im Freien, aber bleiben Sie wachsam.	Atemlosigkeit; stärkere und vermehrte Asthmaanfälle; ...). Sportliche Betätigung für empfindliche Bevölkerungsgruppen: Wenn Sie Aktivitäten im Freien ausüben und Herz-Kreislauf-Probleme verspüren (Atemlosigkeit, Herzerkrankungen), wird Ihnen dazu geraten Ihre Anstrengungen einzuschränken und die Dauer Ihrer Aufenthalte im Freien zu verkürzen und, gegebenenfalls, Ihren Arzt zu kontaktieren.
		Très mauvais (sehr schlecht)	Bei Herz-Kreislauf-Beschwerden (Rachenreiz, Husten, Herzerkrankungen) wird empfohlen, Ihre Aktivitäten im Freien einzuschränken und ggf. Ihren Arzt aufzusuchen.	Reduzieren Sie die Intensität Ihrer Outdoor-Sportarten oder körperlichen Aktivitäten. Im Falle einer Ozonspitze entscheiden Sie sich für moderate sportliche/körperliche Aktivitäten in Innenräumen. Bei Herz-Kreislauf-Beschwerden wird Ihnen empfohlen, Ihren Arzt aufzusuchen.
		Exécrable (scheußlich)	Reduzieren Sie die Intensität Ihrer Outdoor-Sportarten/ körperlichen Aktivitäten. Im Falle einer Ozonspitze entscheiden Sie sich stattdessen für Indoor-Sportaktivitäten. Bei Herz-Kreislauf-Beschwerden sollten Sie Ihren Arzt konsultieren.	Vermeiden Sie körperliche Aktivitäten, egal ob draußen oder drinnen. Im Falle einer Ozonspitze ist eine mäßige Aktivität in Innenräumen möglich. Bei Herz-Kreislauf-Beschwerden sollten Sie Ihren Arzt konsultieren.
12	Monaco, Region Côte d'Azur	Good (bon)	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities. (La qualité de l'air est bonne. Profitez de vos activités habituelles en extérieur.)	
		Average (moyen)	The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities. (La qualité de l'air est bonne. Profitez de vos activités habituelles en extérieur.)	
		Degraded (dégradé)	Enjoy your usual outdoor activities. (Profitez de vos activités habituelles en extérieur.)	Enjoy your usual outdoor activities. (Profitez de vos activités habituelles en extérieur.) In case of respiratory or cardiac discomfort, seek advice from a health professional. Do not aggravate the effects of pollution by adding irritating factors (tobacco, solvents, chimney smoke, pollen, etc.)

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Bad (mauvais)	Enjoy your usual outdoor activities. (Profitez de vos activités habituelles en extérieur.)	Enjoy your usual outdoor activities. (Profitez de vos activités habituelles en extérieur.) In the city, the use of anti-pollution masks does not reduce the impact of air pollution on health.
		Very bad (très mauvais)	Consider reducing strenuous outdoor activities if you experience symptoms. (Pensez à réduire les activités d'extérieur intenses si vous ressentez des symptômes.)	
		Extremely bad (extrêmement mauvais)	Consider reducing strenuous outdoor activities if you experience symptoms. (Pensez à réduire les activités d'extérieur intenses si vous ressentez des symptômes.)	
		Event (Événement)	Consider reducing strenuous outdoor activities if you experience symptoms. (Pensez à réduire les activités d'extérieur intenses si vous ressentez des symptômes.)	
13	Niederlande	Good (goed)	You do not have to adjust your usual activities.	
		Moderate (matig)	You do not have to adjust your usual activities.	Consider reducing physical exertion.
		Insufficient (onvoldoende)	Consider reducing physical exertion	Reduce physical exertion. If necessary, consult your doctor about adjusting your medication.
		Bad (slecht)	Take it easy; reduce physical exertion.	Reduce physical exertion. If necessary, consult your doctor about adjusting your medication.
		Very bad (zeer slecht)	A smog alarm applies. Take it easy, avoid physical exertion.	If necessary, consult your doctor about adjusting your medication.
14	Norwegen	Little (lite)	Little or no risk of health effects. Outdoor activity recommended	Asthma, other lung diseases, cardiovascular diseases, diabetes, elderly, pregnant women and children: Outdoor activity recommended

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Moderate (moderat)	Healthy individuals are unlikely to have health effects. Outdoor activity recommended	Moderate health risks - Health effects can occur in some asthmatics and people with other respiratory diseases or severe cardiovascular disease. Asthma, other lung diseases: Outdoor activity is recommended for most people. Those experiencing worsening respiratory symptoms should consider reducing intense physical activity in the most polluted outdoor areas. Cardiovascular diseases, diabetes: Outdoor activity is recommended for most people. Those experiencing worsening symptoms should consider reducing vigorous physical activity in the most polluted outdoor areas. (This advice applies in particular to PM _{2.5}). Elderly: Outdoor activity is recommended for most people. Those who experience worsening symptoms in the respiratory or cardiovascular systems should consider reducing high physical activity in the most polluted outdoor areas. Pregnant women and children: Outdoor activity recommended
		High (høy)	Respiratory irritations and discomfort can occur in healthy individuals. Outdoor activity is usually recommended. People with symptoms such as cough or sore throat should consider reducing intense physical activity in the most polluted outdoor areas.	Significant health risks - Health effects occur in asthmatics and people with other respiratory or cardiovascular diseases. People with severe respiratory illness or who experience worsening of their asthma should reduce intense physical activity and limit the length of stay in the most polluted outdoor areas. People with respiratory or cardiovascular disease should reduce high levels of physical activity and limit the length of stay in the most polluted outdoor areas. (This advice applies in particular to PM _{2.5}). Outdoor activity is recommended for healthy seniors. Outdoor activity is recommended for most people. Pregnant women and children with respiratory

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
				symptoms should limit their residence time in the most polluted outdoor areas.
		Very high (svært høy)	Respiratory irritations and discomfort occur in healthy individuals.	Serious health risks - Vulnerable groups in the population are highly vulnerable to health effects. People with asthma and other respiratory diseases should not stay in the most polluted outdoor areas. People with cardiovascular disease should not stay in the most polluted outdoor areas. (This advice applies in particular to PM _{2.5}). Reduce physical activity and limit the time spent in the most polluted outdoor areas.
15	Südkorea	Good	Na ¹	Na
		Moderate	Na	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} : There are no particular restrictions on outdoor activities, but work according to your physical condition.
		Unhealthy	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} : avoid long or excessive outdoor activities. People with eye pain and a sore throat caused by cough should avoid long or excessive outdoor activities.	SO ₂ : Asthma patients should avoid outdoor activities CO: Sensitive people should avoid long or excessive outdoor activities, restrain oneself from activities outdoor activities in traffic jam areas O ₃ : sensitive people should avoid long or excessive outdoor activities. PM _{2.5} , PM ₁₀ : sensitive people should avoid long or excessive outdoor activities. Especially asthma patients are recommended to use inhalers more often when they are outdoors.
		Very unhealthy D	SO ₂ : Recommendation to do indoor activities. Consult with a doctor before doing any outdoor activities O ₃ : Avoid outdoor activities, prefer indoor activities PM _{2.5} , PM ₁₀ : people should avoid long or excessive outdoor activities. People with a sore throat and cough should avoid outdoor activities.	SO ₂ : Children, people with asthma or other respiratory diseases: avoid outdoor activities CO: Sensitive people restrain oneself from even normal level outdoor activities, avoid traffic jam areas O ₃ : Sensitive people are recommended to do indoor activities. NO ₂ : Children, people with asthma or other respiratory diseases: avoid

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
				intense outdoor activities PM _{2.5} , PM ₁₀ : Sensitive people are recommended to do indoor activities. Consult with a doctor before doing any outdoor activities
		Very unhealthy E	SO ₂ : people should not do outdoor activities CO: people should avoid long or excessive outdoor activities, restrain oneself from activities outdoor activities in traffic jam areas O ₃ : people should not do outdoor activities PM _{2.5} , PM ₁₀ : people should not do outdoor activities	SO ₂ : Sensitive people should not do outdoor activities CO: Sensitive people should not do even normal level of outdoor activities O ₃ : Sensitive people should not do outdoor activities NO ₂ : Children, people with asthma or other respiratory diseases should not do intense outdoor activities PM _{2.5} , PM ₁₀ : Children, elderly, people with cardiac or lung diseases should remain indoors and keep activity levels low
16	Spanien	Good (buena)	Enjoy your outdoor activities as normal.	Enjoy your outdoor activities as normal.
		Reasonably good (razonable-mente buena)	Enjoy your outdoor activities as normal.	Enjoy your outdoor activities as normal.
		Regular	Enjoy your outdoor activities as normal. However, watch out for symptoms such as coughing, irritation of throat, shortness of breath, excessive fatigue or palpitations.	Consider reducing prolonged and intense outdoor activities. People with asthma or respiratory diseases should follow their medication plan carefully. People with heart problems may experience palpitations, shortness of breath, or unusual fatigue.
		Unfavorable (desfavorable)	Consider reducing prolonged and intense outdoor activities, especially if you experience coughing, shortness of breath or throat irritation.	Reduce all outdoor activities and consider doing indoor activities or postponing them to a time when air quality is good or reasonably good. Follow the medical treatment plan carefully.
		Very unfavorable (muy desfavorable)	Consider reducing outdoor activities or doing them indoors or postpone them until the air quality is good or reasonably good.	Reduce all outdoor activities and consider doing indoor activities or postponing them to a time when air quality is good or reasonably good. Follow the medical treatment plan carefully.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
17	Schweiz	Extremely unfavorable (extremada- mente des- favorable)	Reduce all outdoor activity and consider doing activities indoors or postponing them until the air quality is good or reasonably good. Use adequate protection for work that must be done out outdoors.	Avoid prolonged stays outdoors. If you have a medical treatment plan, follow it carefully and seek emergency care if your condition worsens.
		Gering	Es sind kaum gesundheitliche Beeinträchtigungen zu erwarten.	
		Mässig	Ein Auftreten von gesundheitlichen Beeinträchtigungen ist möglich. Betroffen sind vor allem Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.	
		Deutlich	Gesundheitliche Beeinträchtigungen können auftreten. Betroffen sind vor allem Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.	
		Erheblich	Gesundheitliche Beeinträchtigungen können vermehrt auftreten. Betroffen sind vor allem Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.	
		Hoch	Gesundheitliche Beeinträchtigungen können verbreitet auftreten. Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind besonders stark von der schlechten Luftqualität betroffen.	
18	U.K.	Sehr hoch	Gesundheitliche Beschwerden können weit verbreitet auftreten. Personen mit bereits bestehenden Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind besonders stark von der schlechten Luftqualität betroffen.	
		Low	Enjoy your usual outdoor activities.	Enjoy your usual outdoor activities.
		Moderate	Enjoy your usual outdoor activities.	Adults and children with lung problems, and adults with heart problems, who experience symptoms, should consider reducing strenuous physical activity, particularly outdoors.
		High	Anyone experiencing discomfort such as sore eyes, cough or sore throat should consider reducing activity, particularly outdoors.	Adults and children with lung problems, and adults with heart problems, should reduce strenuous physical exertion, particularly outdoors, and particularly if they experience symptoms. People with asthma may find they need to use their reliever inhaler more often. Older people should also reduce physical exertion.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
19	USA	Very high	Reduce physical exertion, particularly outdoors, especially if you experience symptoms such as cough or sore throat.	Adults and children with lung problems, adults with heart problems, and older people, should avoid strenuous physical activity. People with asthma may find they need to use their reliever inhaler more often.
		Good	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.	
		Moderate	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.	
		Unhealthy for sensitive groups	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.	
		Unhealthy	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.	
		Very unhealthy	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.	
20	Usbekistan	Hazardous	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.	
		Low	Continue staying in fresh air as usual. Walking in parks, recreation areas is not limited.	-
		Increased	-	Children, older and hypersensitive people, feeling uncomfortable while breathing, limit staying in fresh air also reduce the long and intense exercises in the open air.
		High	Anyone feeling uncomfortable: eye pain, sore throat, cough reduce outdoor activities.	Children, older and hypersensitive people, feeling uncomfortable while breathing, limit staying in fresh air also do not conduct long and intense exercises in the open air.
		Very high	Reduce outdoor activities for the general population. Wear masks when leaving the premises.	Children, older and hypersensitive people, feeling uncomfortable while breathing remain indoors, avoid high physical activities. People with asthma use inhaler more frequently to relieve the condition. Wear masks when leaving the premises.

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
21	Global (Breezo- Meter)	Excellent	With this level of air quality, you have no limitations. Enjoy the outdoors!	<p>Children, Elderly: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Pregnant: To keep you and your baby healthy, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Asthma: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Active: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Heart: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p>

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Good	With this level of air quality, you have no limitations. Enjoy the outdoors!	<p>Children, Elderly: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Pregnant: To keep you and your baby healthy, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Asthma: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Active: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Heart: If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities. Try to limit the time you spend near busy roads, construction sites, industrial emission stacks, open fires and other sources of smoke.</p>

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Moderate	If you start to feel respiratory discomfort such as coughing or breathing difficulties, consider reducing the intensity of your outdoor activities.	<p>Children, Elderly: Reduce the intensity of your outdoor activities or postpone them to the early morning when ozone levels tend to be lower. In addition, consider reducing the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Pregnant: To keep you and your baby healthy, consider reducing the intensity of your outdoor activities. It is recommended to limit the time you spend near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Asthma: Reduce the intensity of your outdoor activities. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. It is recommended to limit the time you are near busy roads, open fires and other sources of smoke. In addition, consider reducing the time you spend near industrial emission stacks.</p> <p>Active: Reduce the intensity of your outdoor activities. It is recommended to limit the time you are near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke. In addition, consider reducing the time you spend near industrial emission stacks.</p> <p>Heart: Reduce the intensity of your outdoor activities. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. It is recommended to limit the time you are near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke. In addition, consider reducing the time you spend near industrial emission stacks.</p>

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
		Low	Reduce the intensity of your outdoor activities. It is recommended to limit the time you are near busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke. Staying indoors with an activated air filtration system would be best for your long term health.	<p>Children, Elderly: Avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Pregnant: To keep you and your baby healthy, avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Asthma: Avoid intense activities outdoors. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. Stay away from busy roads, open fires and other sources of smoke. .</p> <p>Active: Avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Heart: Avoid intense activities outdoors. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p>
		Poor	Avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke. Staying indoors with an activated air filtration system would be best for your long term health.	<p>Children, Elderly: Avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Pregnant: To keep you and your baby healthy, avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Asthma: Avoid intense activities outdoors. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. Stay away from busy roads, open fires and other sources of smoke.</p> <p>Active: Avoid intense activities outdoors. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.</p>

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
				Heart: Avoid intense activities outdoors. Keep relevant medication(s) available and consult a doctor with any questions. Stay away from busy roads, construction sites, open fires and other sources of smoke.
22	Global (Plume)	Excellent	No risk The air quality is ideal for most individuals; enjoy your normal outdoors activities.	
		Fair	Impact risk if chronic exposure The air quality is generally acceptable for most individuals. However, sensitive groups may experience minor to moderate symptoms from long-term exposure.	
		Poor	Impact if chronic exposure The air has reached a high level of pollution and is unhealthy for sensitive groups. Reduce time spent outside if you are feeling symptoms such as difficulty breathing or throat irritation.	
		Unhealthy	Immediate effect on health Health effects can be immediately felt by sensitive groups. Healthy individuals may experience difficulty breathing and throat irritation with prolonged exposure. Limit outdoor activity.	
		Very unhealthy	Immediate effects for individuals at risk Health effects will be immediately felt by sensitive groups and should avoid outdoor activity. Healthy individuals are likely to experience difficulty breathing and throat irritation; consider staying indoors and rescheduling outdoor activities.	
		Dangerous	Immediate effects for everybody Any exposure to the air, even for a few minutes, can lead to serious health effects on everybody. Avoid outdoor activities.	
23	Airly	Very low	The air is splendid! Enjoy your life outside.	-
		Low	The air is good enough to go outside.	-

ID	Land/ Region	Bezeichnung	Gesundheitsempfehlungen für die breite Öffentlichkeit	Gesundheitsempfehlungen für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen
24	Global (World Air Quality Index)	Medium	The air is polluted and may negatively impact sensitive individuals.	-
		High	The air is polluted and have a negative impact on your health.	-
		Extreme	The air is very polluted and dangerous for your health!	-
		Airma- geddon!	The air threatens your health and life. Stay home!	-
		Good	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk	-
		Moderate	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
		Unhealthy for Sensitive Groups	The general public is not likely to be affected.	Members of sensitive groups may experience health effects. Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
		Unhealthy	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid prolonged outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit prolonged outdoor exertion
		Very Unhealthy	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion.
		Hazardous	Health alert: everyone may experience more serious health effects Everyone should avoid all outdoor exertion	

¹ Na: nicht anwendbar

D Ergänzende Grafiken und Tabellen zu den Auswertungen der LQI-Vorschläge

D.1 Ergänzende Tabellen zu Abbildung 11

Die hier aufgelisteten Anteile wurden auf Basis aller verfügbarer Messstationen und aller Stunden des Jahres berechnet. Da nicht jede Station jeden Stoff misst und zudem Messlücken vorliegen können, summieren die Anteile je Stoff nicht zu 100% auf.

Tabelle 48: Zahlenwerte für NO₂ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut	55.03 % (64.15 %)	31.79 % (39.64 %)	31.79 % (39.64 %)	31.79 % (39.64 %)
gut	23.71 % (20.54 %)	31.06 % (32.05 %)	37.45 % (37.66 %)	37.45 % (37.66 %)
mäßig	12.67 % (6.88 %)	28.36 % (19.87 %)	18.61 % (13.07 %)	18.61 % (13.07 %)
schlecht	0.19 % (0.03 %)	0.19 % (0.03 %)	3.36 % (1.2 %)	3.36 % (1.2 %)
sehr schlecht	0.0 % (0.0 %)	0.0 % (0.0 %)	0.19 % (0.03 %)	0.19 % (0.03 %)

Tabelle 49: Zahlenwerte für O₃ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut	36.65 % (36.02 %)	36.57 % (36.02 %)	12.5 % (11.84 %)	12.5 % (11.84 %)
gut	22.14 % (24.65 %)	19.28 % (21.39 %)	32.47 % (33.31 %)	32.47 % (33.31 %)
mäßig	1.56 % (1.29 %)	4.34 % (4.54 %)	14.98 % (16.65 %)	14.98 % (16.65 %)
schlecht	0.03 % (0.01 %)	0.06 % (0.02 %)	0.30 % (0.17 %)	0.30 % (0.17 %)
sehr schlecht	0.0 % (0.0 %)	0.0 % (0.0 %)	0.0 % (0.0 %)	0.0 % (0.0 %)

Tabelle 50: Zahlenwerte für SO₂ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut		23.85 % (23.4 %)	23.60 % (23.19 %)	23.60 % (23.19 %)
gut		0.09 % (0.07 %)	0.31 % (0.26 %)	0.31 % (0.26 %)
mäßig		0.04 % (0.03 %)	0.05 % (0.04 %)	0.05 % (0.04 %)

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
schlecht		0.0 % (0.0 %)	0.01 % (0.01 %)	0.01 % (0.01 %)
sehr schlecht		0.0 % (0.0 %)	0.01 % (0.0 %)	0.01 % (0.0 %)

Tabelle 51: Zahlenwerte für PM_{2.5} in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut	30.28 % (43.39 %)	15.56 % (21.50 %)	15.56 % (21.50 %)	15.56 % (21.50 %)
gut	13.24 % (16.3 %)	22.50 % (32.29 %)	22.50 % (32.29 %)	22.50 % (32.29 %)
mäßig	2.12 % (2.16 %)	7.90 % (8.60 %)	7.90 % (8.60 %)	7.90 % (8.60 %)
schlecht	2.49 % (1.90 %)	1.72 % (1.27 %)	1.72 % (1.27 %)	1.72 % (1.27 %)
sehr schlecht	0.08 % (0.02 %)	0.23 % (0.11 %)	0.23 % (0.11 %)	0.23 % (0.11 %)

Tabelle 52: Zahlenwerte für PM₁₀ in Abbildung 11 für 2019 (Angaben für 2022 in Klammern).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut	61.41 % (64.91 %)	47.73 % (50.17 %)	25.65 % (25.51 %)	25.65 % (25.51 %)
gut	15.67 % (14.28 %)	30.6 % (30.1 %)	44.09 % (47.62 %)	44.09 % (47.62 %)
mäßig	3.14 % (2.11 %)	1.82 % (1.15 %)	9.79 % (7.94 %)	9.79 % (7.94 %)
schlecht	0.76 % (0.38 %)	0.36 % (0.20 %)	0.99 % (0.56 %)	0.99 % (0.56 %)
sehr schlecht	0.01 % (0.01 %)	0.11 % (0.07 %)	0.11 % (0.07 %)	0.11 % (0.07 %)

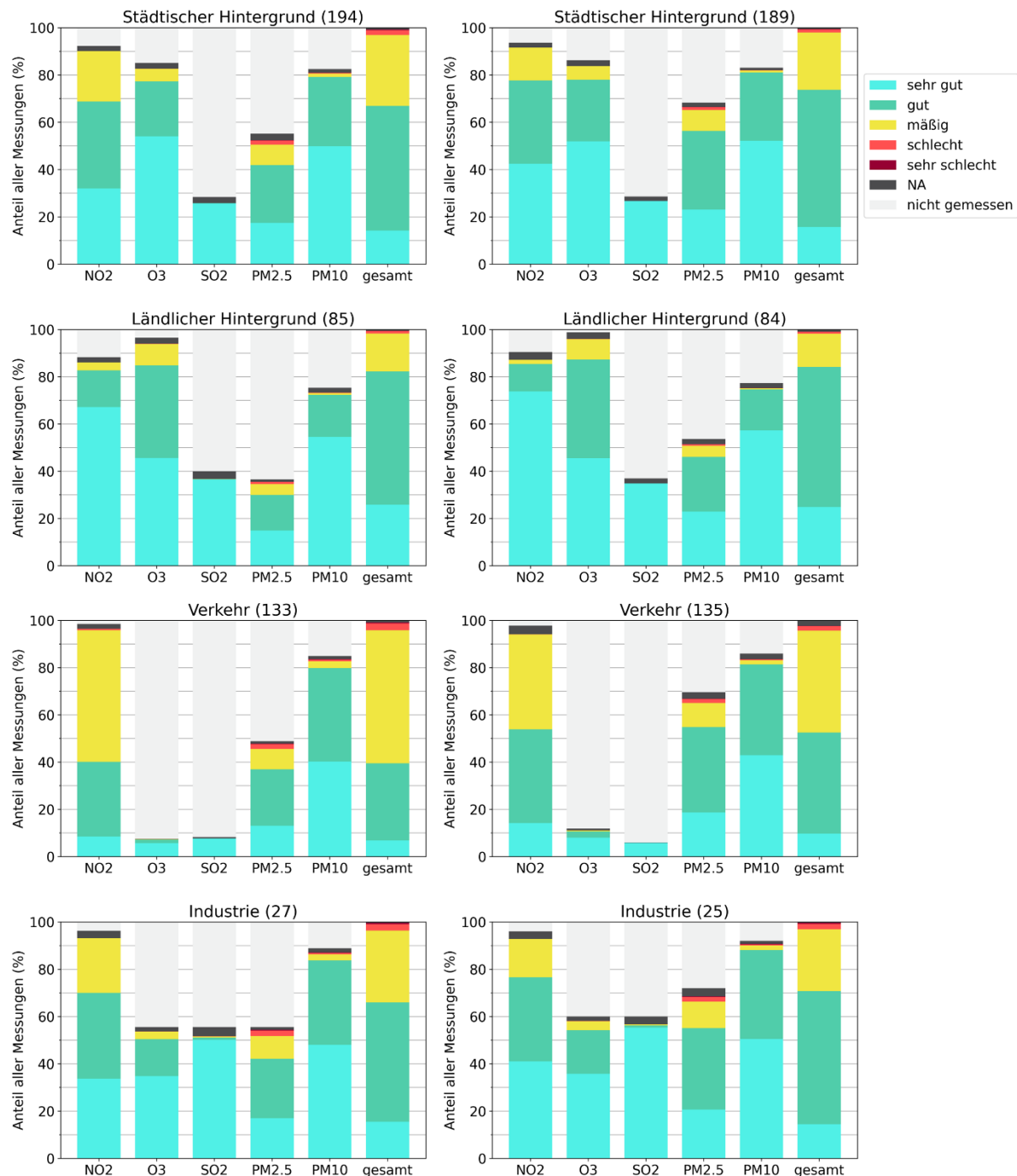
Tabelle 53: Zahlenwerte für den Gesamt-LQI in Abbildung 11 für 2019 (2022).

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
sehr gut	31.69 % (35.8 %)	14.27 % (15.53 %)	4.59 % (4.97 %)	4.59 % (4.97 %)

	UBA_akt	LQI_V1	LQI_V2C	LQI_V32C
gut	48.46 % (51.11 %)	47.21 % (53.43 %)	50.08 % (55.36 %)	50.08 % (55.36 %)
mäßig	15.99 % (9.97 %)	35.32 % (28.29 %)	38.49 % (35.52 %)	37.89 % (35.04 %)
schlecht	3.07 % (2.08 %)	2.15 % (1.41 %)	5.61 % (2.77 %)	6.19 % (3.24 %)
sehr schlecht	0.09 % (0.02 %)	0.31 % (0.16 %)	0.50 % (0.20 %)	0.51 % (0.21 %)

D.2 Ergänzende Grafiken zu Vorschlag 1

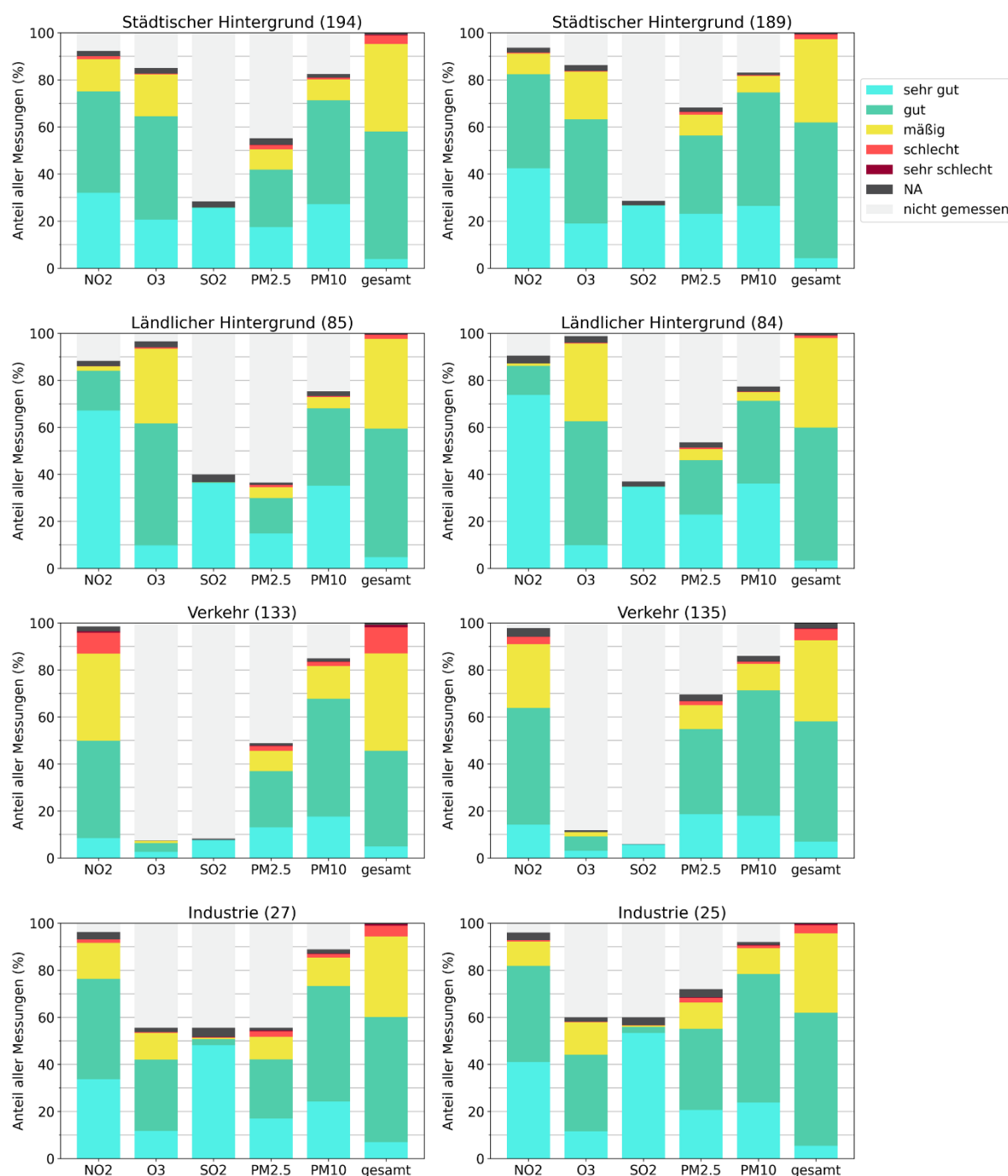
Abbildung 12: Auswertungen des LQI-Vorschlags 1 für 2019 (links) und 2022 (rechts): Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzel-LQIs von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den Gesamt-LQI differenziert nach Stationstypen. Die Überschrift enthält in Klammern die Anzahl an Stationen des jeweiligen Stationstyps.



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

D.3 Ergänzende Grafiken zu Vorschlag 2

Abbildung 13: Auswertungen des LQI-Vorschlags 2 für 2019 (links) und 2022 (rechts): Häufigkeitsverteilung der LQI-Kategorien für die Einzel-LQIs von NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5} und PM₁₀ und den Gesamt-LQI differenziert nach Stationstypen. Die Überschrift enthält in Klammern die Anzahl an Stationen des jeweiligen Stationstyps.



Quelle: Eigene Darstellung, IVU Umwelt GmbH

E Symposium

Für die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse aus Arbeitspaket 1 und 2 wurde am 28.02.2024 ein eintägiges Symposium in der Landesvertretung Baden-Württemberg in Berlin abgehalten. Teilgenommen haben neben dem Auftraggeber und den (Unter-)Auftragnehmern 15 Vertreter*innen der Bundesländer sowie Expertinnen und Experten. Insgesamt waren Vertreter*innen aus 11 Bundesländern anwesend, nicht vertreten waren Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland.

Nach einer Begrüßung und Einführung in das Projekt und seine Zielsetzung, wurden von Vertreter*innen aus Bayern, Berlin, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen die in ihren jeweiligen Bundesländern genutzten LQI vorgesellt. Im Rahmen dieser Präsentationen zeigte sich deutlich die Diversität der Ansätze innerhalb Deutschlands. Außerdem wurde der Wunsch aller Vortragenden nach einer Harmonisierung der LQI innerhalb Deutschlands betont und es zeigte sich eine hohe Bereitschaft, sich nach der Überarbeitung des UBA LQI an die neu entwickelten Schwellenwerte und an das Farbkonzept des UBA LQI anzupassen.

Im Anschluss wurde die Herleitung der neuen LQI-Vorschläge sowie deren neue Setzung von Klassengrenzen vorgestellt (HHU), bevor die Anwendung der Vorschläge auf die Beispieljahre 2019 und 2022 präsentiert wurde (IVU). Nach beiden Präsentationen ergab sich eine rege Diskussion, deren wichtigste Inhalte und Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst werden.

Zunächst löste die Aufnahme von SO₂ in den LQI eine Diskussion aus. SO₂ wird aufgrund der geringen Konzentrationen in den meisten Bundesländern nur noch an wenigen Messstationen gemessen und einige Bundesländer planen, in Zukunft weitere Messgeräte abzubauen bzw. die SO₂-Messungen ganz einzustellen. Folglich werden die entsprechenden Stationen bei einem LQI, der SO₂ beinhaltet, stets als „unvollständig“ markiert werden, obwohl auf Grund einer gesicherten Einhaltung der Beurteilungsschwelle keine Notwendigkeit zur Messung von SO₂ vorliegt. Es ist für die Bildung des Gesamtindex daher zu überlegen, ob für Messstationen in Bundesländern, die ihre SO₂-Messungen wegen Irrelevanz eingestellt haben, SO₂ aus der Indexbildung grundsätzlich herausgenommen wird, so dass nicht in großer Zahl „unvollständige“ Gesamtindizes entstehen. Die Aufnahme von SO₂ in den neuen LQI begründet sich durch den Entwurf der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie und wird insbesondere von Sachsen begrüßt, da SO₂ dort noch an einigen Stationen relevant ist und berücksichtigt werden soll.

Außerdem entwickelt sich eine rege Diskussion um das Interaktionsmodul. Es wurde angemerkt, dass der methodisch relativ einfache Ansatz des Interaktionsmoduls in einem gewissen formalen „Widerspruch“ zu der detaillierten wissenschaftlichen Ableitung der Klassengrenzen der Variante 2 steht. Gleichzeitig wurde allerdings auch die Befürchtung geäußert, dass die Erklärung/Kommunikation des Interaktionsmoduls zu komplex sei im Vergleich zum Nutzen, da die Häufigkeit der Aktivierung als gering eingeschätzt wird. Als mögliche Alternative wurde vorgeschlagen, anstelle der Nutzung eines „Interaktionsmoduls“ die sich verstärkenden Wechselwirkungen zweier Schadstoffe in textlicher Form in den gesundheitlichen Empfehlungen zu berücksichtigen. Weiterhin wurde allgemein festgestellt, dass es wünschenswert wäre, im Interaktionsmodul weitere Faktoren wie z. B. Hitze oder Pollen zu berücksichtigen, da auch diese die Wirkung von Schadstoffbelastungen verstärken können.

Des Weiteren wurde von Vertreter*innen der Bundesländer verschiedentlich der Bedarf nach Kommunikations- bzw. Argumentationshilfen hinsichtlich des LQI und seinen Gesundheitsempfehlungen geäußert. Dies ist insbesondere relevant, da bei den Ländern die Kommunikation

mit der Bevölkerung bzgl. des LQI in der Regel nicht durch Personal erfolgt, das medizinisches bzw. epidemiologisches Fachwissen aufweist. Hierfür soll die Entwicklung des Index ausführlich dokumentiert und in verschiedenen Detailstufen für verschiedene Zielgruppen aufbereitet werden. Auch die Veröffentlichung des Index und der Methodik in einem peer-reviewed Artikel auf Englisch wird als sinnvoll erachtet. Diese Punkte liegen jedoch außerhalb des aktuellen Projektumfangs.