



HINTERGRUND // FEBRUAR 2023

Luftqualität 2022

Vorläufige Auswertung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

HINTERGRUND // FEBRUAR 2023

Luftqualität 2022

Vorläufige Auswertung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Deutschlandkarte der Luftmessstationen	6
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Belastungsregime für Feinstaub und Stickstoffdioxid	7
Abbildung 3:	Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte	8
Abbildung 4:	Mittlere PM ₁₀ -Monatsmittelwerte 2018–2022	9
Abbildung 5:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des PM ₁₀ -Grenzwertes	10
Abbildung 6:	Mittlere Anzahl von PM ₁₀ -Überschreitungstagen	11
Abbildung 7:	PM ₁₀ -Tagesmittelwerte aller Stationen an den Neujahrstagen 2015–2023	12
Abbildung 8:	Entwicklung der PM _{2,5} -Jahresmittelwerte und des Average Exposure Indicators (AEI)	13
Abbildung 9:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des NO ₂ -Grenzwertes	15
Abbildung 10:	Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte	16
Abbildung 11:	Mittlere NO ₂ -Monatsmittelwerte 2018–2022	17
Abbildung 12:	Überschreitungsstunden der Ozon-Informationsschwelle (180 µg/m ³)	18
Abbildung 13:	Tage mit Überschreitung des Ozon-Langfristzielwertes (120 µg/m ³)	19
Abbildung 14:	Räumliche Verteilung der Überschreitungstage des Ozon-Langfristziels zum Schutz der Gesundheit (Zahl der Tage mit maximalen 8-Stundenmittelwerten > 120 µg/m ³)	20
Abbildung 15:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Ozon-Zielwertes	20
Abbildung 16:	Trend der Ozon-Jahresmittelwerte	26
Abbildung 17:	Modellrechnung der Ammoniakkonzentration für das Jahr 2019	27
Abbildung 18:	Entwicklung der Ammoniak-Emissionen in Prozent gegenüber 2005	28

Inhalt

I Luftqualität 2022: Datengrundlage und Auswertemethodik	6
1 Luftqualität und Luftschadstoffe.....	6
2 Vorläufigkeit der Angaben.....	7
3 Ursachen der Luftbelastung.....	7
4 Einfluss der Umgebungsbedingungen.....	7
II Feinstaub: Einhaltung der EU-Grenzwerte, aber Überschreitung der WHO-Richtwerte	8
1 PM ₁₀ -Jahresmittelwerte.....	8
2 PM ₁₀ -Tagesmittelwerte.....	10
3 PM _{2,5} -Belastung.....	13
III Stickstoffdioxid: Rückgang setzt sich fort	15
1 NO ₂ -Jahresmittelwerte.....	15
2 NO ₂ -Stundenmittelwerte.....	17
IV Bodennahes Ozon: Durchschnittliche Belastung, aber höher als im Vorjahr	18
1 O ₃ -Informations- und Alarmschwelle.....	18
2 O ₃ -Zielwert und Langfristziel zum Schutz der menschlichen Gesundheit.....	19
3 O ₃ -Schutz der Vegetation.....	21
V Herausforderungen in der Luftreinhaltung – unregulierte Luftschadstoffe	22
1 Hintergrund.....	22
2 Ultrafeinstaub.....	23
3 Black Carbon.....	24
4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC).....	25
5 Ammoniak.....	27
Weitere Informationen zum Thema	30

I Luftqualität 2022: Datengrundlage und Auswertemethodik

1 Luftqualität und Luftschadstoffe

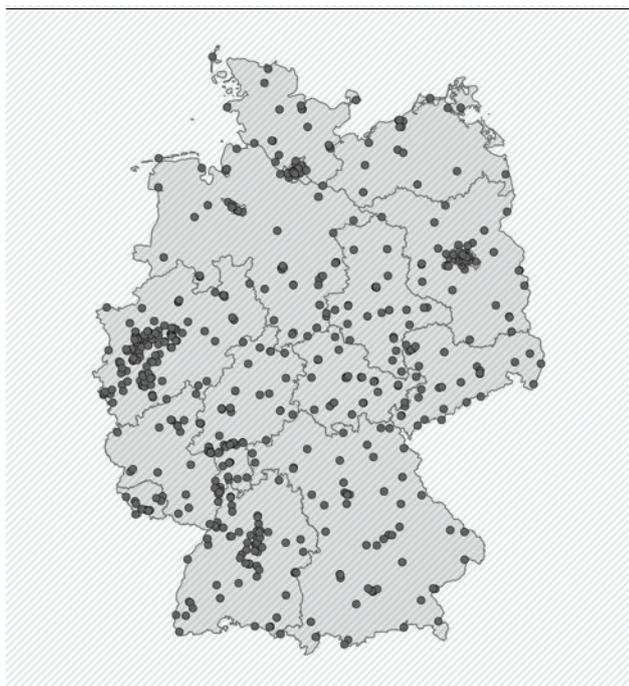
Die Luftqualität wird deutschlandweit von den Bundesländern und dem Umweltbundesamt überwacht. Die Qualität der Luft wird dabei durch den Gehalt von Luftschadstoffen bestimmt, also Stoffen, die schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt haben. Dazu zählen vor allem Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon.

Die Schadstoffkonzentrationen in der Luft werden mehrmals am Tag an über 600 Messstationen über Deutschland verteilt gemessen (Abbildung 1). Da die Überwachung der Luftqualität den Bundesländern obliegt, stammen die Daten zum allergrößten Teil aus deren Messnetzen. Zur deutschlandweiten Beurteilung der Luftqualität werden die Daten der Länder am Umweltbundesamt zusammengeführt und ausgewertet. Die Auswertung und Beurteilung der Luftqualität erfolgt im Hinblick auf die in der Richtlinie¹ über Luftqualität und saubere Luft für Europa definierten Grenz- und Zielwerte. Die Ergebnisse werden zudem

¹ EU-Richtlinie 2008/50/EG, die mit der 39. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz in deutsches Recht überführt ist.

Abbildung 1

Deutschlandkarte der Luftmessstationen



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5})

sind Partikel, die den gröbselektierenden Lufterlass eines Messgerätes passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 (PM₁₀) beziehungsweise 2,5 (PM_{2,5}) Mikrometer (µm) eine Abscheidewirksamkeit von 50 Prozent aufweist. Feinstaub entsteht vor allem bei Verbrennungsprozessen in Kraftfahrzeugen, Kraftwerken und Kleinfeuerungsanlagen, in der Metall- und Stahlerzeugung, durch Bodenerosion und aus Vorläufersubstanzen wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und Ammoniak. Es ist erwiesen, dass Feinstaub die Gesundheit schädigt.

Stickstoffdioxid (NO₂)

ist eine reaktive Stickstoffverbindung, die als Nebenprodukt bei Verbrennungsprozessen, vor allem in Fahrzeugmotoren, entsteht und die zu einer Vielzahl negativer Umweltwirkungen führen kann. Das ist vor allem für Asthmatiker ein Problem, da sich eine Bronchienverengung einstellen kann, die zum Beispiel durch die Wirkungen von Allergenen verstärkt werden kann.

Ozon (O₃)

ist ein farbloses und giftiges Gas welches in der oberen Atmosphäre (Stratosphäre) eine natürliche Ozonschicht bildet und die Erde vor der schädlichen Ultraviolettstrahlung der Sonne schützt. In Bodennähe entsteht es bei intensiver Sonneneinstrahlung durch komplexe photochemische Prozesse aus Ozonvorläuferstoffen – überwiegend Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen. Erhöhte Ozonkonzentrationen können beim Menschen Reizungen der Atemwege, Husten und Kopfschmerzen hervorrufen.

mit den meist wesentlich strengeren Richtwerten der Weltgesundheitsorganisation (WHO) verglichen, die im September 2021 als globale Luftqualitätsleitlinien veröffentlicht wurden². Diese basieren auf einer

² World Health Organization (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Lizenz: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

systematischen Bestandsaufnahme der vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse aus umweltepidemiologischen Studien, Metaanalysen und Reviews. Damit wurden die Luftqualitätsleitlinien aktualisiert und die Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverschmutzung der letzten 15 Jahre konnten so berücksichtigt werden.

2 Vorläufigkeit der Angaben

Diese Auswertung der Luftqualität im Jahr 2022 in Deutschland basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, Stand 31. Januar 2023. Aufgrund der umfangreichen Qualitätssicherung in den Messnetzen stehen die endgültigen Daten erst Mitte 2023 zur Verfügung.

Die jetzt vorliegenden Daten lassen aber eine generelle Einschätzung des vergangenen Jahres zu. Betrachtet werden die Schadstoffe Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Ozon (O₃), da deren Konzentrationen über oder knapp unter geltenden Grenz- und Zielwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit liegen.

3 Ursachen der Luftbelastung

Quellen der Luftschadstoffe sind vor allem der Straßenverkehr und Verbrennungsprozesse in Industrie, Energiewirtschaft und Haushalten. Zur Feinstaubbelastung trägt auch die Landwirtschaft durch die Bildung sogenannter sekundärer Partikel bei, also Partikel, die erst durch komplexe chemische Reaktionen aus gasförmigen Substanzen entstehen. Die Höhe der Schadstoffbelastung wird zudem von der Witterung beeinflusst. Ist es kalt, steigen die Emissionen (Mengen der freigesetzten Schadstoffe) gewöhnlich, weil z. B. stärker geheizt wird. Winterliches Hochdruckwetter, das häufig durch geringe Windgeschwindigkeiten und einen eingeschränkten vertikalen Luftaustausch gekennzeichnet ist, führt dazu, dass sich Schadstoffe in den unteren Luftschichten anreichern. Sommerliche Hochdruckwetterlagen mit intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen begünstigen die Bildung bodennahen Ozons.

Bei hohen Windgeschwindigkeiten und guten Durchmischungsbedingungen verringert sich hingegen die Schadstoffbelastung. Zwischenjährliche Schwankungen in der Luftbelastung werden in erster

Linie durch diese unterschiedlichen Witterungsbedingungen verursacht. Sie überlagern daher den Einfluss der eher langfristigen Entwicklung der Emissionen.

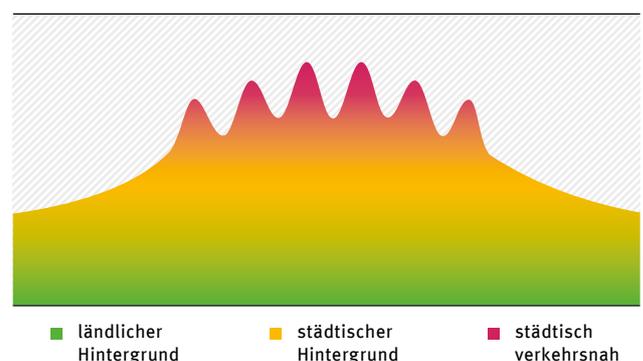
4 Einfluss der Umgebungsbedingungen

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationswerte als so genannte „Belastungsregime“ zusammengefasst. Belastungsregime gruppieren Messstationen mit ähnlichen Umgebungsbedingungen. Das Regime „ländlicher Hintergrund“ steht für Gebiete, in denen die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen Emissionen ist. Stationen in diesem Regime repräsentieren somit das großräumige Belastungsniveau, das auch als großräumiger Hintergrund bezeichnet wird. Das Regime „städtischer Hintergrund“ ist charakteristisch für Gebiete, in denen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen als typisch für die Luftqualität in der Stadt angesehen werden können. Die Belastung ergibt sich dabei aus den Emissionen der Stadt selbst (Straßenverkehr, Heizungen, Industrie etc.) und denen des großräumigen Hintergrunds. Stationen des Regimes „städtisch verkehrsnah“ befinden sich typischerweise an stark befahrenen Straßen. Dadurch addiert sich zur städtischen Hintergrundbelastung ein Beitrag, der durch die direkten Emissionen des Straßenverkehrs entsteht. Abbildung 2 stellt die Beiträge der einzelnen Belastungsregime schematisch dar, gibt allerdings nur die ungefähren Größenverhältnisse wieder. Ein weiteres Belastungsregime bilden industrienahe Messungen, mit denen der Beitrag industrieller Quellen auf die Luftqualität in naheliegenden Wohngebieten beurteilt werden soll.

Abbildung 2

Schematische Darstellung der Belastungsregime für Feinstaub und Stickstoffdioxid

modifiziert nach Lenschow*



* Lenschow et. al., Some ideas about the sources of PM₁₀, Atmospheric Environment 35 (2001) S23–S33

II Feinstaub: Einhaltung der EU-Grenzwerte, aber Überschreitung der WHO-Richtwerte

1 PM₁₀-Jahresmittelwerte

Im Jahr 2022 lagen die PM₁₀-Jahresmittelwerte auf dem Niveau des Vorjahres (Abbildung 3).

Einhergehend mit großräumigen Minderungen der PM₁₀-Emissionen weisen die PM₁₀-Jahresmittelwerte in allen Belastungsregimen über den gesamten Beobachtungszeitraum eine deutliche Abnahme auf. Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährliche Schwankungen geprägt, vor allem wegen der unterschiedlichen Witterungsverhältnisse. Der PM₁₀-Jahresmittelgrenzwert wurde deutschlandweit eingehalten. 47 Prozent der Messstationen wiesen Werte oberhalb des von der WHO vorgeschlagenen Luftgüteleitwertes auf, wobei nicht nur verkehrsnahe Stationen, sondern auch Messungen im städtischen und vereinzelt sogar im ländlichen Hintergrund betroffen sind.

EU-Grenzwert

Der PM₁₀-Jahresmittelwert darf 40 µg/m³ nicht überschreiten.

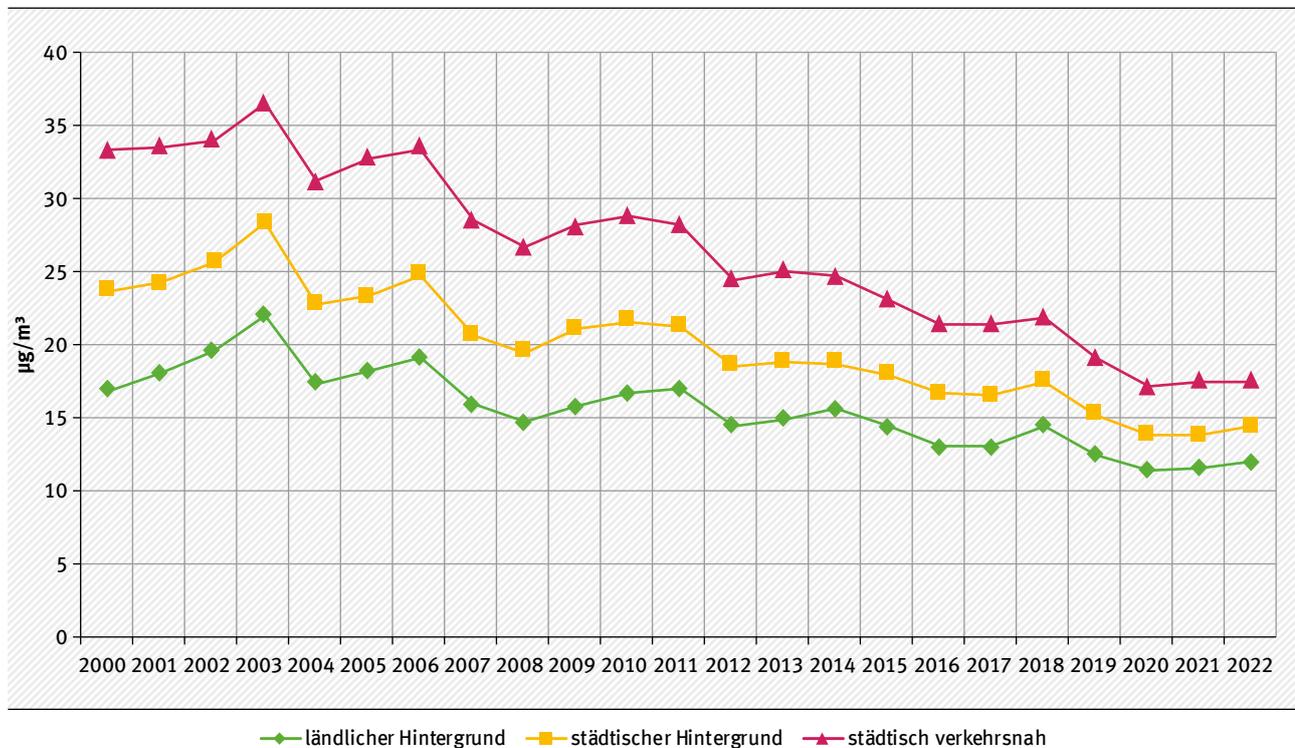
WHO-Richtwert 2021

Der PM₁₀-Jahresmittelwert soll 15 µg/m³ nicht überschreiten.

Abbildung 3

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte

im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Die zwischenjährlichen Schwankungen der PM₁₀-Jahresmittelwerte sind neben meist geringfügigeren Änderungen der jährlichen PM₁₀-Emissionen vor allem auf wetterbedingte Schwankungen zurückzuführen (siehe auch Kapitel I Gliederungspunkt 3: Ursachen der Luftbelastung), wie der Verlauf der mittleren Monatsmittelwerte der letzten fünf Jahre in Abbildung 4 verdeutlicht.

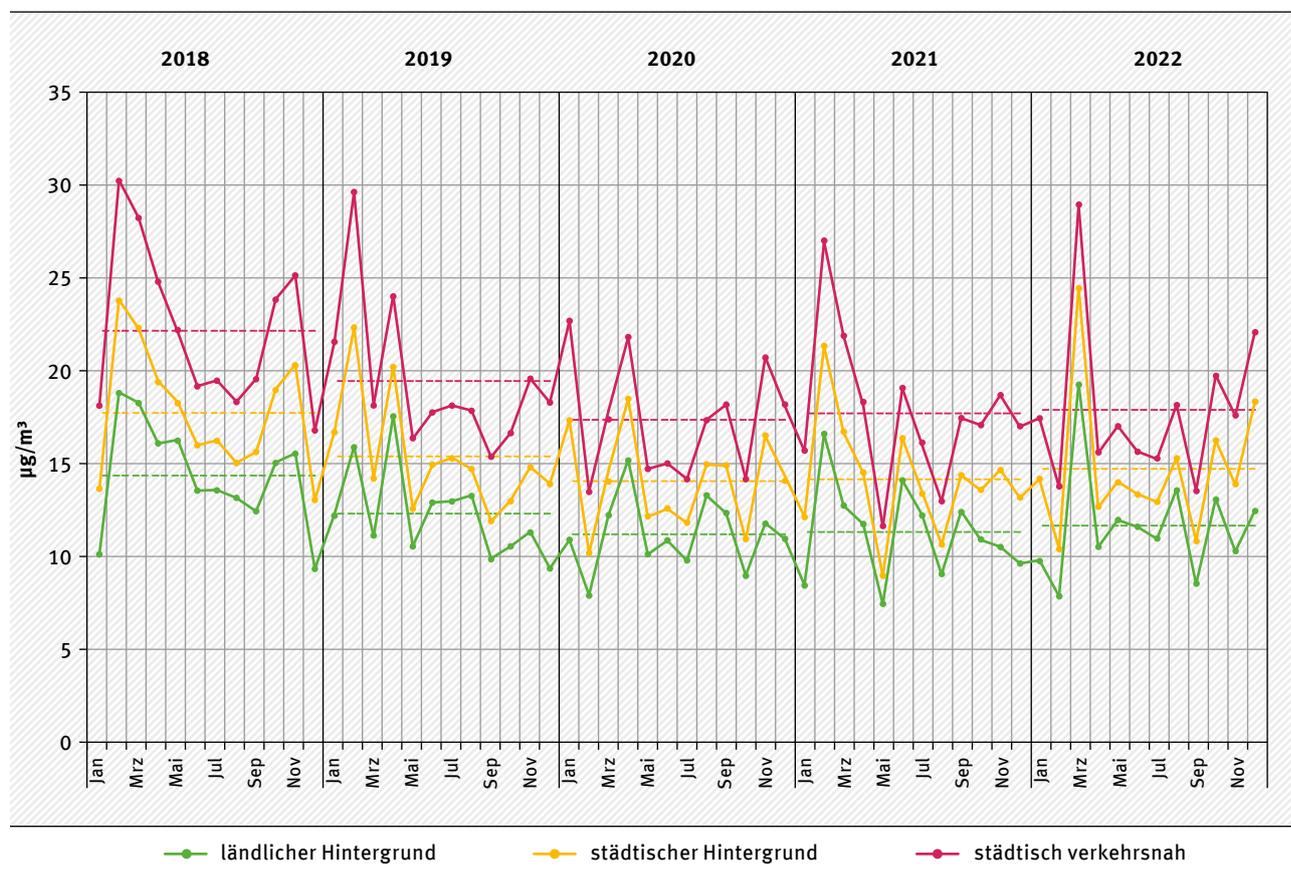
zu trockenen Sommer³. Deutlich zu nass hingegen waren die Monate Februar und September, was sich in einer niedrigen PM₁₀-Belastung widerspiegelt. Weiterhin auffällig ist die hohe PM₁₀-Belastung im März: dieser war der sonnenscheinreichste seit Aufzeichnungsbeginn und damit erheblich zu trocken⁴.

Mit 2022 gab es erneut ein sonnenscheinreiches und zu warmes Jahr. Es gehört mit zu den wärmsten Jahren seit Aufzeichnungsbeginn mit einem deutlich

3 Deutschlandwetter im Jahr 2022, Pressemitteilung des DWD, https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20221230_deutschlandwetter_jahr2022_news.html?nn=495078
 4 Deutschlandwetter im März 2022, Pressemitteilung des DWD, https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20220330_deutschlandwetter_maerz2022.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Abbildung 4

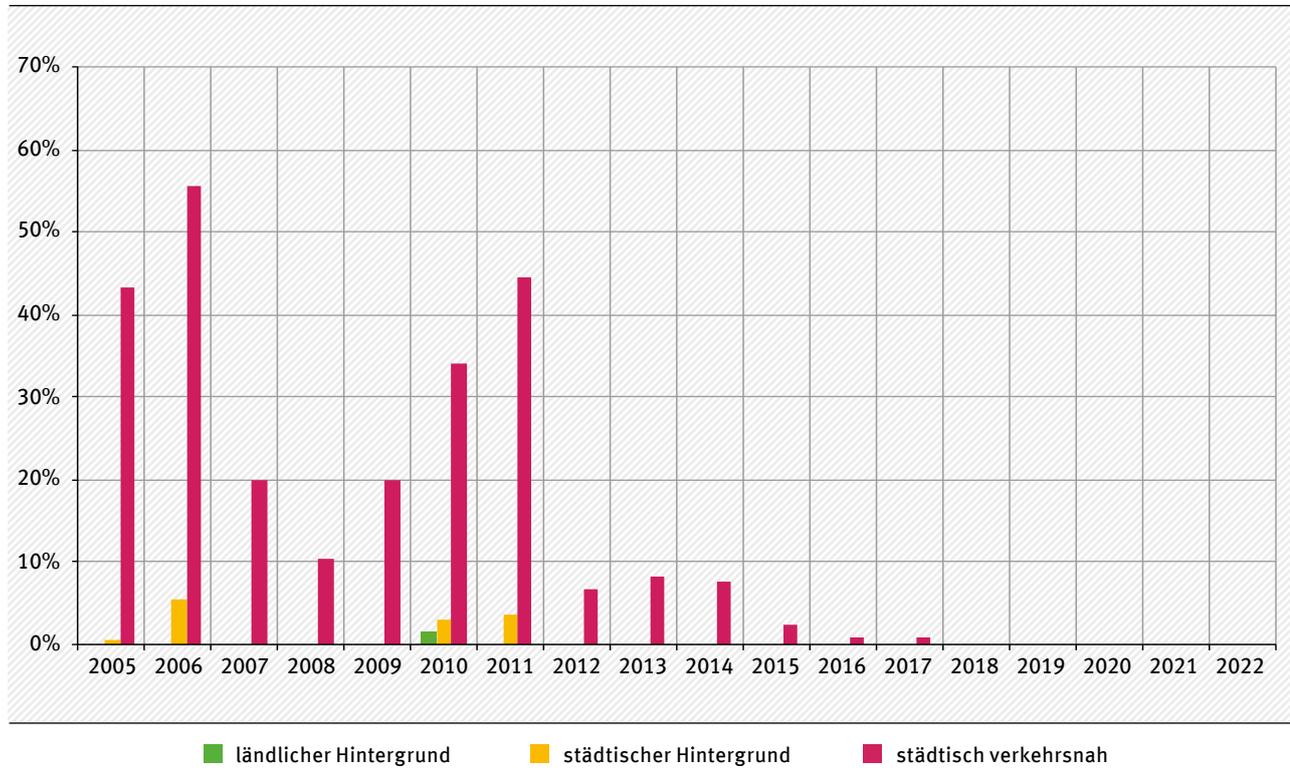
Mittlere PM₁₀-Monatsmittelwerte 2018–2022
Mittelwert über das Gesamtjahr gestrichelt



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 5

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des PM₁₀-Grenzwertes für das Tagesmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2005–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

2 PM₁₀-Tagesmittelwerte

Ebenso wie in den Vorjahren wurden an keiner der rund 360 Stationen PM₁₀-Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ an mehr als 35 Tagen registriert. Damit setzt sich die positive Entwicklung der letzten Jahre fort. In der Vergangenheit traten die meisten Überschreitungen im verkehrsnahen Bereich auf, im Jahr 2006 sogar an mehr als der Hälfte dieser Stationen. Seit 2012 lagen die Anteile der Stationen mit Überschreitung allerdings schon unter 10 Prozent, von da an ist keine Messstation im Hintergrund mehr betroffen gewesen, wie aus Abbildung 5 ersichtlich wird (gelbe Balken).

Der Richtwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde an 24 Prozent aller Stationen nicht eingehalten.

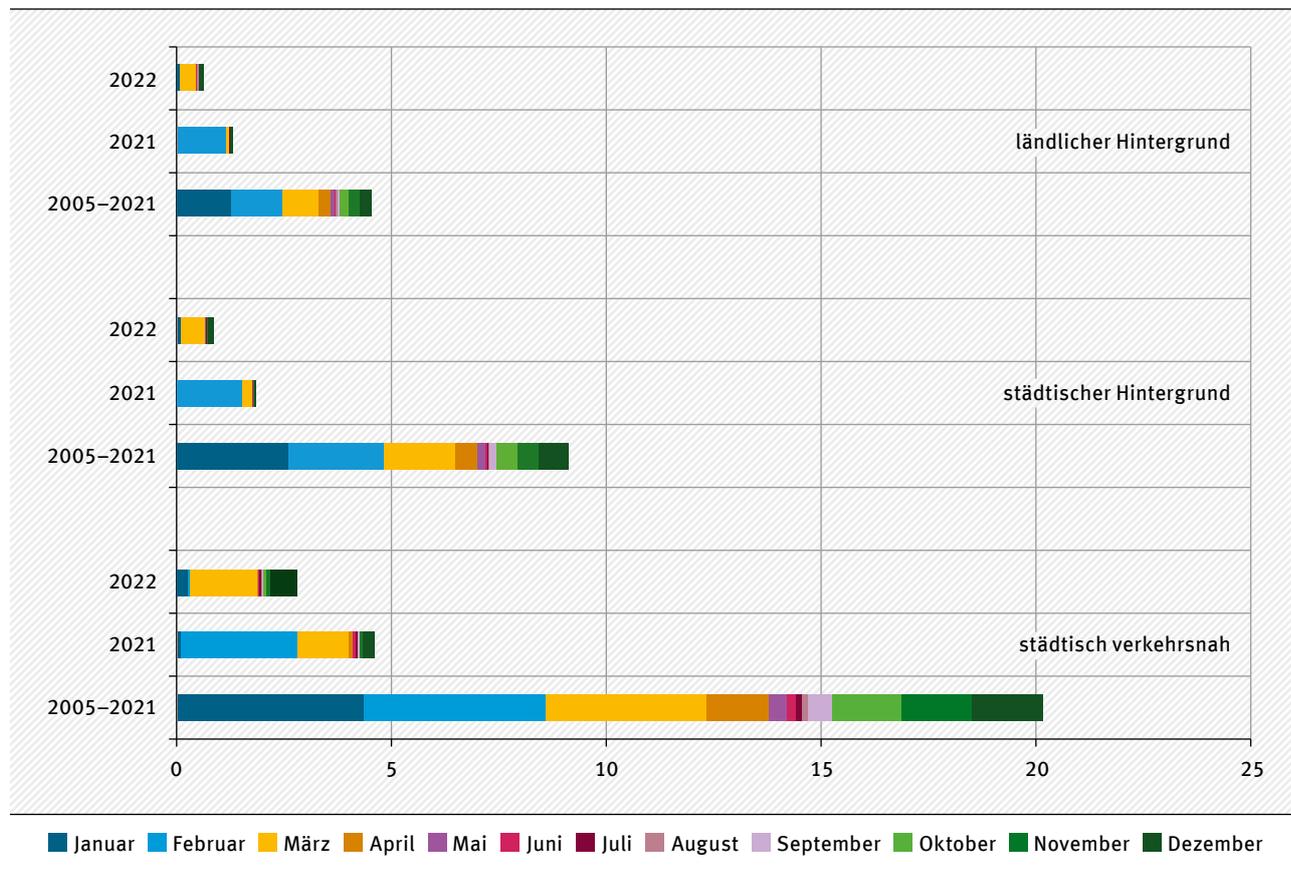
EU-Grenzwert

Der PM₁₀-Tagesmittelwert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr 50 µg/m³ überschreiten.

WHO-Richtwert 2021

Für die kurzfristige Belastung soll das 99. Perzentil der PM₁₀-Tagesmittelwerte eines Jahres den Wert von 45 µg/m³ nicht überschreiten.

Abbildung 6

Mittlere Anzahl von PM₁₀-Überschreitungstagen**(Tagesmittelwerte > 50 µg/m³) pro Monat im jeweiligen Belastungsregime, dargestellt für die Jahre 2022, 2021 und den Zeitraum 2005–2021**

Quelle: Umweltbundesamt 2023

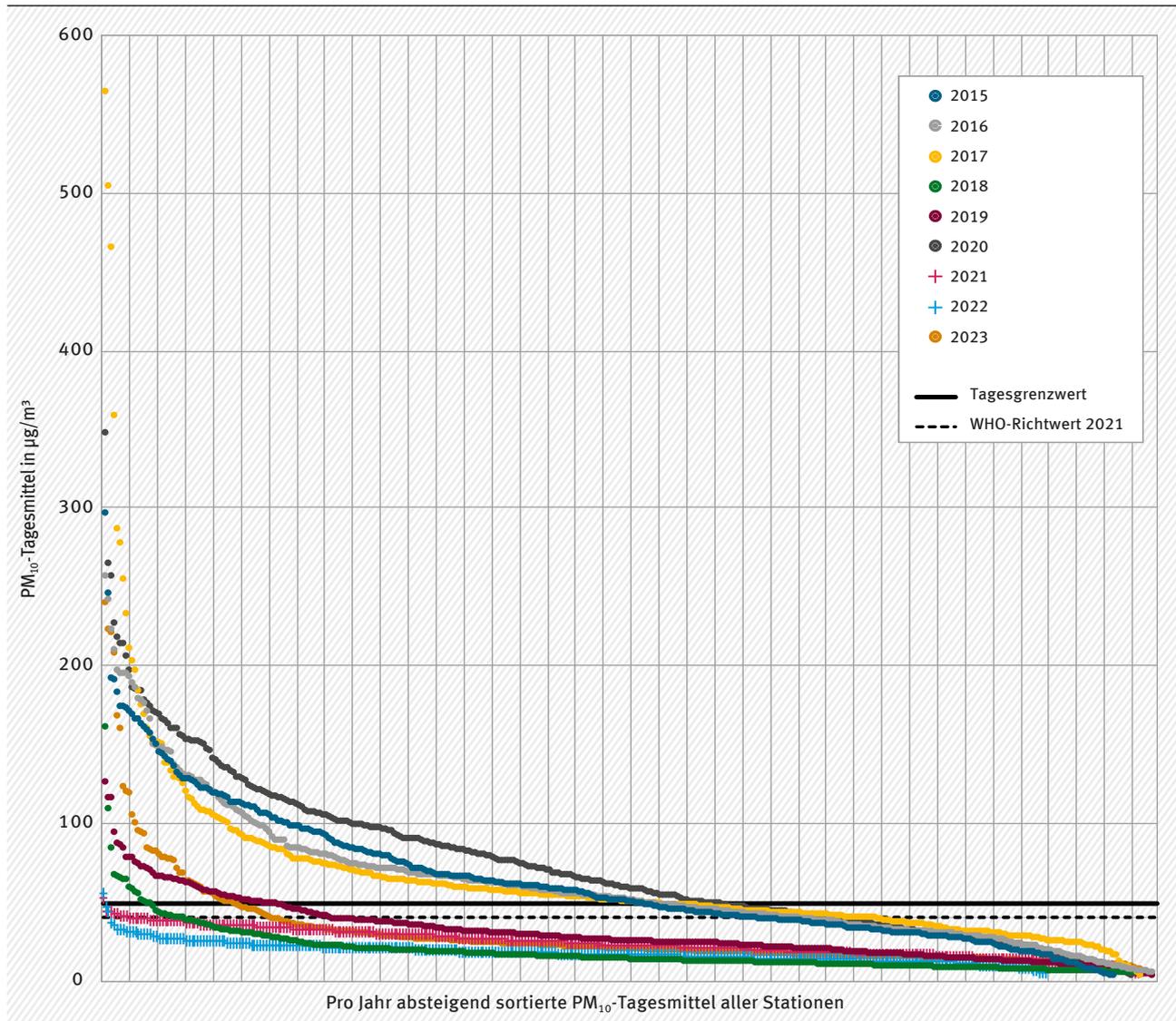
Abbildung 6 zeigt auf, wie viele Überschreitungstage im Mittel pro Monat registriert wurden. Das Jahr 2022 wird hier dem Vorjahr 2021 und einem längeren Referenzzeitraum (2005–2021) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass im gesamten letzten Jahr im Vergleich zum mehrjährigen Mittel wenig Überschreitungstage auftraten. Im Vergleich zum höher belasteten Vorjahr 2021 gab es deutlich weniger Überschreitungen. Diese traten vor allem im erheblich zu trockenen März auf.

Eine Besonderheit bei den PM₁₀-Tagesmittelwerten stellt erfahrungsgemäß der Neujahrstag eines jeden Jahres dar. Einhergehend mit den durch das Silvesterfeuerwerk freigesetzten Emissionen ist die PM₁₀-Belastung in den ersten Stunden des Tages hoch. Diese hohen Stundenwerte beeinflussen auch den PM₁₀-Tagesmittelwert.

Die der Höhe nach absteigend sortierten PM₁₀-Neujahrstagesmittelwerte aller Messstationen in Abbildung 7 machen deutlich, dass die Belastung in den letzten Jahren variierte und zumeist eine Vielzahl der Messstationen Werte oberhalb des Tagesgrenzwertes registrierte. Anders an den Neujahrstagen 2021 und 2022: durch die außergewöhnlich niedrigen freigesetzten PM₁₀-Mengen aufgrund der Corona-Maßnahmen fehlten die üblichen Spitzenwerte komplett. Kaum eine Station registrierte einen Tagesmittelwert über 50 µg/m³. Mit der Aufhebung jeglicher Maßnahmen zum Jahreswechsel 2022/2023 reiht sich die Belastung des Neujahrstag 2023 wieder mit typischen, durch windiges Wetter allerdings relativ niedrigen Tageswerten ein.

Abbildung 7

PM₁₀-Tagesmittelwerte aller Stationen an den Neujahrstagen 2015–2023



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Saharastaubereignis auf der Zugspitze

Auch natürliche Quellen können hohe Feinstaubkonzentrationen verursachen. So wurden beispielsweise an der UBA-Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus zwischen 15. und 18. März 2022 ungewöhnlich hohe Feinstaub (PM₁₀)-Konzentrationen aufgrund von Ferntransport von Luftmassen mit Saharastaub beobachtet: ab Mittag des 15.03. stiegen die Stundenmittelwerte kurzzeitig auf über 100 µg/m³ und fielen zum Abend hin wieder ab. In den Abendstunden des 16.03. stiegen die Werte auf bis zu 400 µg/m³ an. Am 17.03. gingen die Stundenmittelwerte bis zum Morgen auf ca. 100 µg/m³ zurück, um dann abermals bis auf 400 µg/m³ anzusteigen. Erst am 18.03. fielen

die Werte auf ein übliches Niveau zurück. Der höchste Tagemittelwert dieser Episode liegt bei 218 µg/m³ am 17.03.2022. Zum Vergleich: Die Jahresmittelwerte der Station liegen bei circa 4 µg/m³. Es ist damit die am wenigsten mit Feinstaub belastete Messstation in ganz Deutschland. In den 10 Jahren zwischen 2011 und 2020 gab es keine vergleichbar hohen Werte an dieser Bergstation. Im Gegensatz zu anderen Episoden wie z. B. im Februar 2021, in dem sich ein Saharastaubereignis deutschlandweit in hohen PM₁₀-Konzentrationen widerspiegelte, kam es Mitte März 2022 außerhalb des Alpenraums nicht zu großräumigen PM₁₀-Tageswertüberschreitungen, die sich auf Saharastaub zurückführen ließen.

3 PM_{2,5}-Belastung

Für die kleinere Fraktion des Feinstaubes, die nur Teilchen mit einem maximalen Durchmesser von 2,5 Mikrometer (µm) enthält, gilt seit dem 1. Januar 2015 europaweit ein Grenzwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel. In Deutschland wurde dieser Wert seitdem und auch 2022 nicht überschritten. Die mittleren PM_{2,5}-Jahresmittelwerte zeigen über den gesamten betrachteten Zeitraum und alle Regime einen deutlichen Rückgang (Abbildung 8). Die Abbildung zeigt, dass die Konzentrationen der Stationen im städtischen und verkehrsnahen Bereich, die üblicherweise höher belastet sind, auf demselben Niveau liegen wie die ländlichen Stationen noch vor ein paar Jahren.

EU-Grenzwert

Der PM_{2,5}-Jahresmittelwert darf 25 µg/m³ nicht überschreiten.

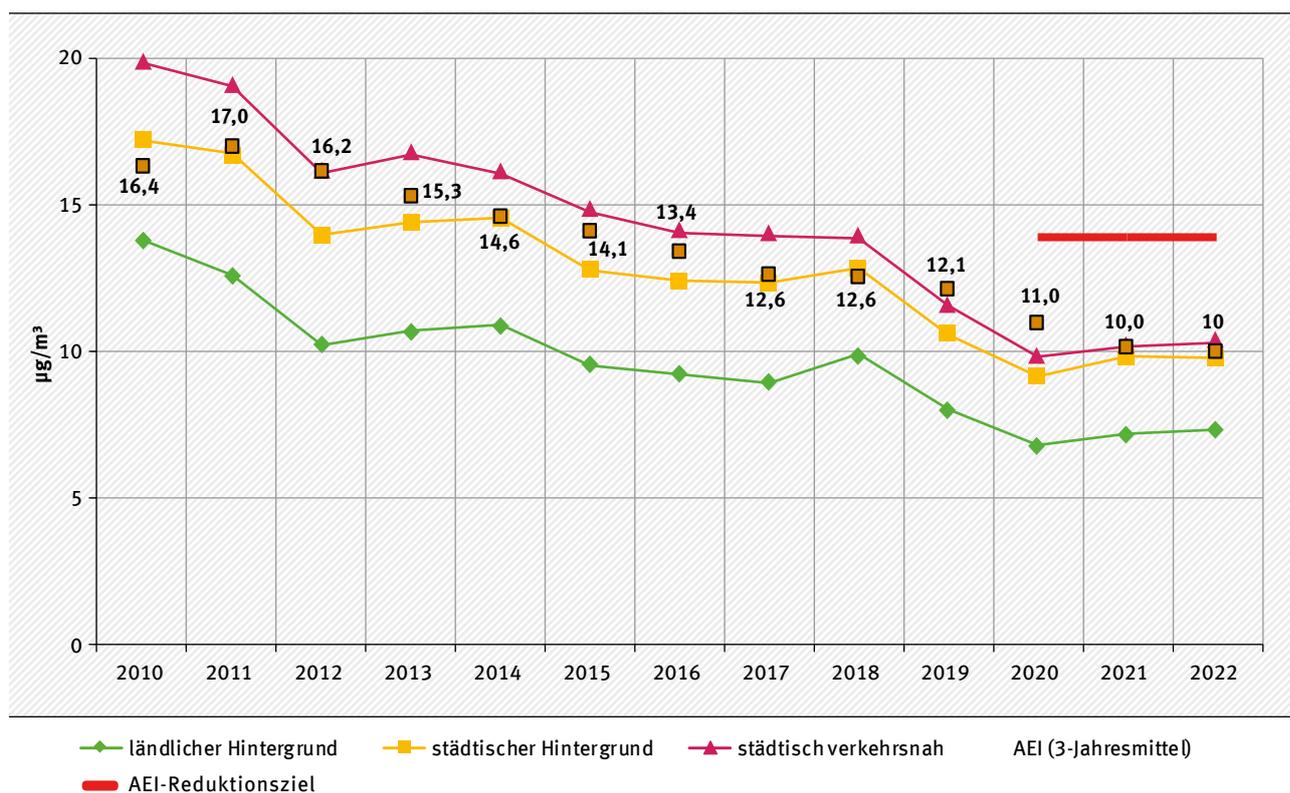
WHO-Richtwerte 2021

Der PM_{2,5}-Jahresmittelwert soll 5 µg/m³ nicht überschreiten. Für die kurzfristige Belastung soll das 99. Perzentil der PM_{2,5}-Tagesmittelwerte eines Jahres den Wert von 15 µg/m³ nicht überschreiten.

Allerdings wird an fast allen der etwa 200 Stationen (99,5 %) der strengere WHO-Richtwert überschritten.

Abbildung 8

Entwicklung der PM_{2,5}-Jahresmittelwerte und des Average Exposure Indicators (AEI) im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Auch der WHO-Richtwert für die kurzfristige Belastung wurde 2022 an allen Stationen überschritten. Zusätzlich zum Grenzwert definiert die EU-Luftqualitätsrichtlinie einen Indikator für die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung gegenüber $PM_{2,5}$, den Average Exposure Indikator (AEI). Dieser wurde als Ausgangswert für das Jahr 2010 mit $16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet, woraus sich ein nationales Minderungsziel von 15 Prozent bis zum Jahr 2020 ableitete. Demnach darf der ab dem Jahr 2020 berechnete AEI (Mittelwert der Jahre 2018, 2019, 2020) den Wert von $13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. Deutschland hat dieses Ziel für die Jahre 2020 und 2021 eingehalten.

Der AEI für das Jahr 2022 (Mittelwert der Jahre 2020, 2021 und 2022) liegt zum jetzigen Stand bei ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Neben dem nationalen Minderungsziel darf der AEI seit dem 1. Januar 2015 den Wert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. Dieser Wert wurde in Deutschland seit Beginn der Messung im Jahr 2008 nicht überschritten.

Exposition

Der Kontakt eines Organismus mit chemischen, biologischen oder physikalischen Einflüssen wird als „Exposition“ bezeichnet. Der Mensch ist zum Beispiel gegenüber Feinstaub exponiert.

Wie wird der Average Exposure Indikator (AEI) berechnet?

Der Indikator für die durchschnittliche Exposition wird als Mittelwert über 3 Jahre aus den einzelnen $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerten ausgewählter Messstationen im städtischen Hintergrund berechnet. So ergibt sich für jeden 3-Jahreszeitraum ein Wert, ausgedrückt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Die Experimentalstation Langen zur Messung von Ultrafeinen Partikeln liegt im städtischen Hintergrund des Rhein-Main-Gebiets. Hier betreibt das Umweltbundesamt eine von mehreren deutschlandweiten Messstationen im GUAN-Netzwerk (German Ultrafine Aerosol Network).

III Stickstoffdioxid: Rückgang setzt sich fort

1 NO₂-Jahresmittelwerte

Im Jahr 2022 wurde der Grenzwert für das NO₂-Jahresmittel voraussichtlich nur noch an zwei Stationen überschritten. Abbildung 9 zeigt deutlich den starken Rückgang des Anteils der Stationen mit Überschreitung des Grenzwertes im verkehrsnahen Bereich. Im städtischen Hintergrund traten schon seit 2015 keine Überschreitungen mehr auf, vorher nur vereinzelt.

EU-Grenzwert

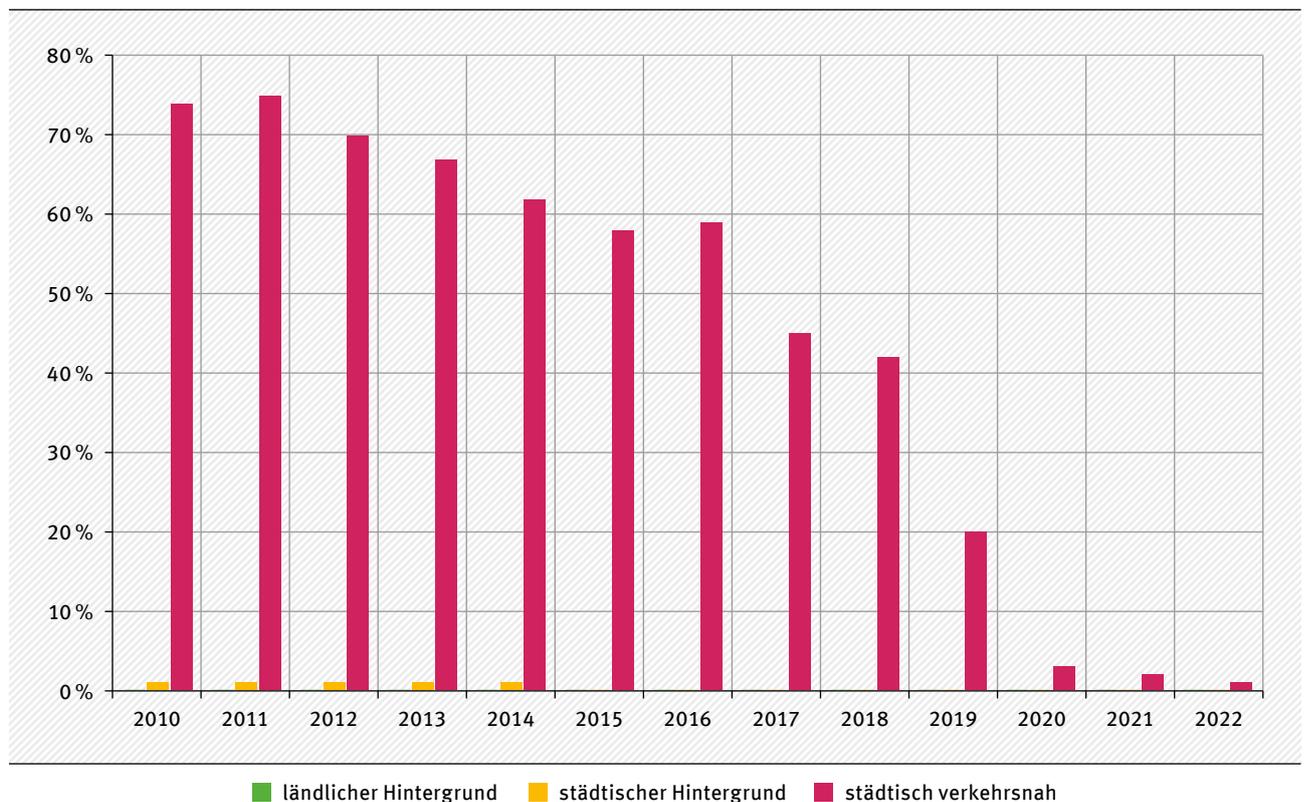
Der NO₂-Jahresmittelwert darf 40 µg/m³ nicht überschreiten.

WHO-Richtwert 2021

Der NO₂-Jahresmittelwert soll 10 µg/m³ nicht überschreiten.

Abbildung 9

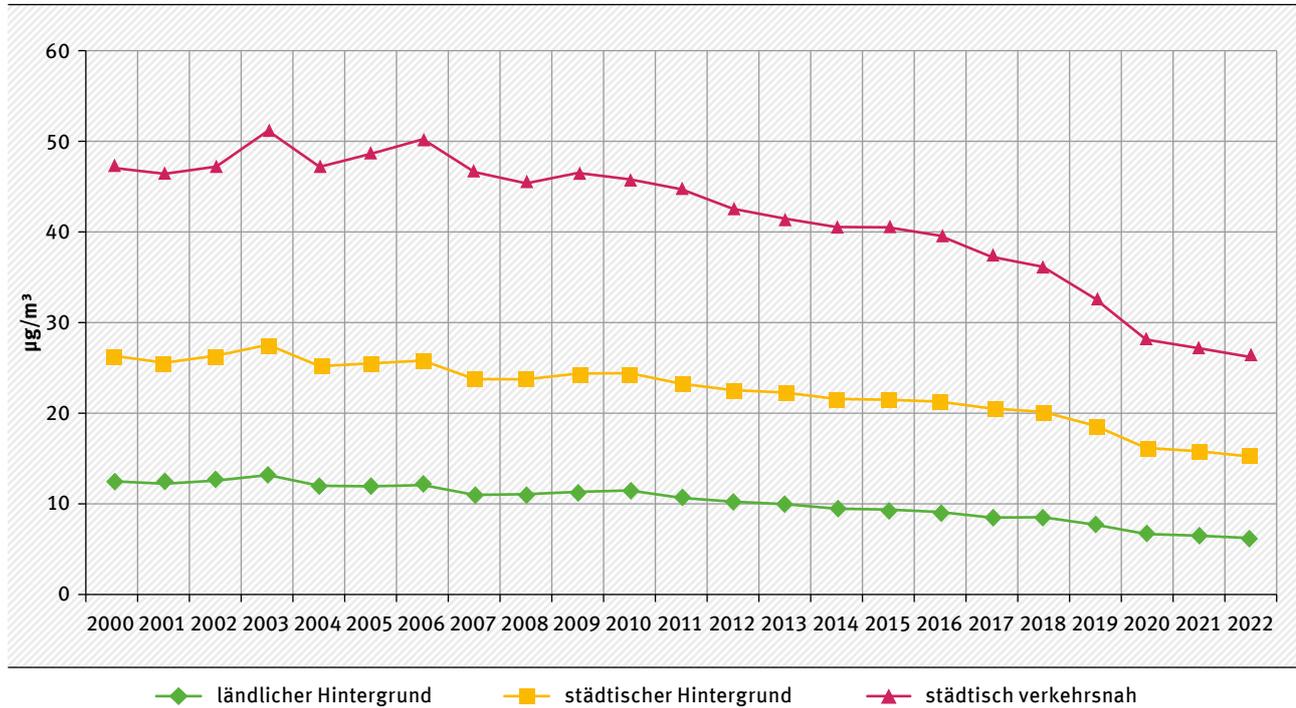
Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des NO₂-Grenzwertes für das Jahresmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 10

**Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte
im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2022**



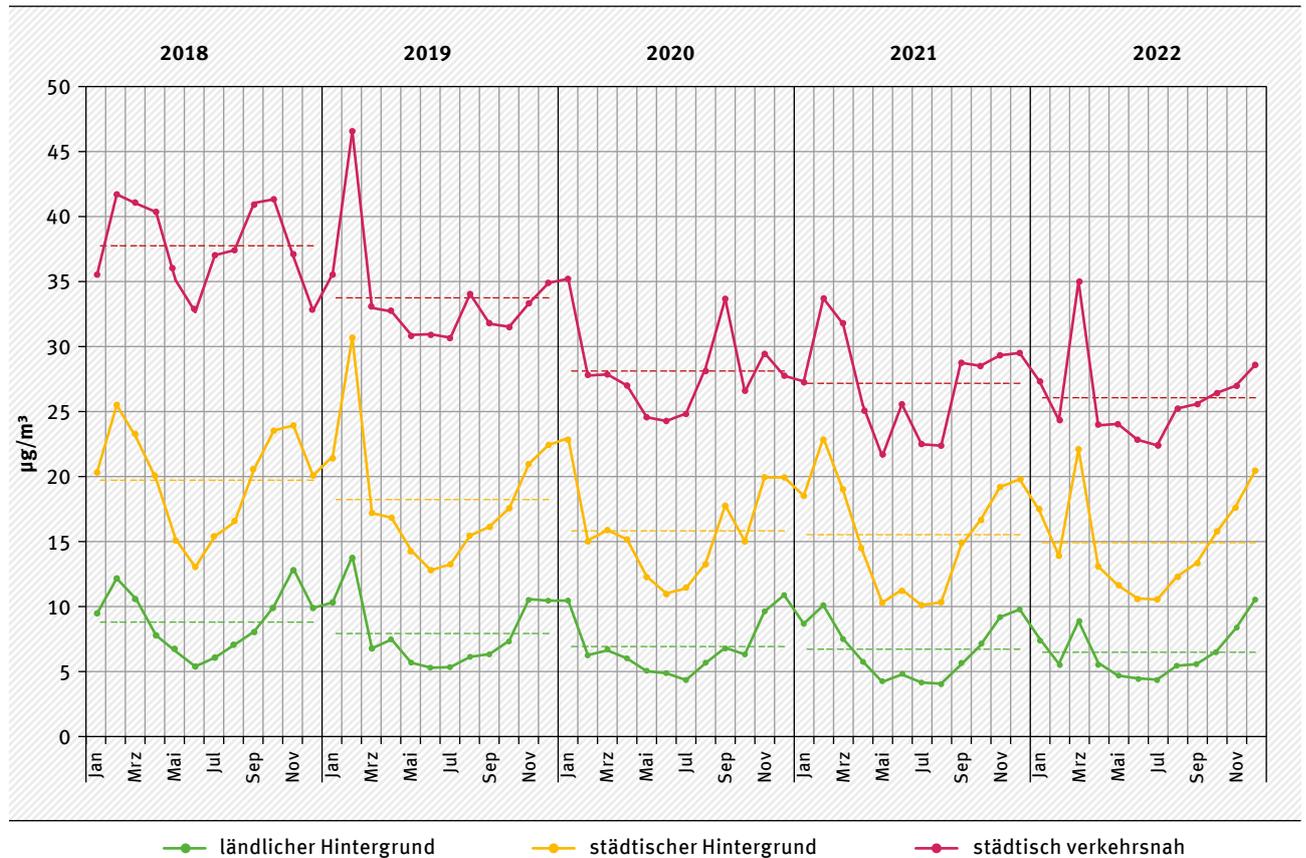
Quelle: Umweltbundesamt 2023

Den strengeren WHO-Richtwert für den NO₂-Jahresmittelwert hielten 80 % aller Stationen nicht ein. Die Stickstoffdioxidbelastung zeigt im letzten Jahrzehnt einen deutlichen Rückgang (Abbildung 10). Um den Einfluss der Schließung alter, beziehungsweise Errichtung neuer Messstationen auf die Entwicklung der mittleren Werte zu mindern, werden für diese Abbildung nur ausgewählte Stationen verwendet, die über einen längeren Zeitraum aktiv waren. Die Höhe der Belastung wird vor allem durch lokale Emissionsquellen – insbesondere durch den Verkehr in Ballungsräumen – bestimmt und weist nur geringe zwischenjährliche Schwankungen aufgrund der Witterung auf.

Im ländlichen Bereich, fern der typischen NO₂-Quellen, lagen die Konzentrationen 2000–2022 im Jahresmittel auf einem Niveau um 10 µg/m³ (Abbildung 10, grüne Kurve). Im städtischen Hintergrund liegen die mittleren Werte weit unterhalb des Grenzwertes von 40 µg/m³, wobei hier ebenso wie im ländlichen Bereich ein leichter Rückgang über die letzten 20 Jahre zu erkennen ist (Abbildung 10, gelbe Kurve). Im Jahr 2022 lag die mittlere NO₂-Konzentration an verkehrsnahen Messstationen (rote Kurve) im Jahresmittel bei rund 25 µg/m³. Während die mittleren Werte im Verkehrsbereich im Zeitraum 2000 bis 2010 in einem Bereich zwischen 45 und 50 µg/m³ stagnierten, begann um das Jahr 2010 ein sich Jahr für Jahr fortsetzender Rückgang.

Abbildung 11

Mittlere NO₂-Monatsmittelwerte 2018–2022 Mittelwert über das Gesamtjahr gestrichelt



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 11 zeigt die mittleren Jahressgänge von NO₂ in den drei Belastungsregimes innerhalb der letzten fünf Jahre (nur Stationen mit ausreichender Datenverfügbarkeit in allen fünf Jahren enthalten). Deutlich wird der kontinuierliche Rückgang der Konzentrationen. Das heißt, bis auf wetterbedingte Schwankungen, die vor allem im Hintergrund typischerweise zu höheren Konzentrationen im Winter und niedrigeren im Sommer führen, liegen die Monatsmittelwerte in jedem Jahr meist unter dem des Vorjahres. Somit ergibt sich ein stetiger Rückgang der mittleren Belastung in allen Regimen (gestrichelte Linie). Die Werte für das Jahr 2022 liegen nur leicht unter denen des Vorjahres. Aufgrund der meteorologischen Bedingungen, wie z. B. austauscharme Wetterlagen, sind immer wieder deutliche Abweichungen möglich. Dies zeigt sich im Jahr 2022 am deutlichsten in den hohen durchschnittlichen Konzentrationen im Monat März.

2 NO₂-Stundenmittelwerte

NO₂-Stundenmittelwerte über 200 µg/m³ sind seit 2010 höchstens 18-mal im Jahr zulässig. Im Jahr 2022 wurde dieser Grenzwert wie in den Vorjahren nicht überschritten. Zuletzt kam es 2016 zu vereinzelt Grenzwertüberschreitungen im verkehrsnahen Bereich. An nur 2 von ca. 400 Stationen wurde der WHO-Richtwert für den Stundenmittelwert nicht eingehalten. Der WHO-Richtwert für den NO₂-Tagesmittelwert wurde an 82 Prozent der Messstationen nicht eingehalten.

EU-Grenzwert

Die NO₂-Stundenmittelwerte dürfen nicht mehr als 18-mal pro Jahr über 200 µg/m³ liegen.

WHO-Richtwerte 2021

Für die kurzfristige Belastung soll das 99. Perzentil der NO₂-Tagesmittelwerte eines Jahres den Wert von 25 µg/m³ nicht überschreiten. Zusätzlich dazu sollen die NO₂-Stundenmittelwerte den Wert von 200 µg/m³ nicht überschreiten.

IV Bodennahes Ozon: Durchschnittliche Belastung, aber höher als im Vorjahr

1 O₃-Informations- und Alarmschwelle

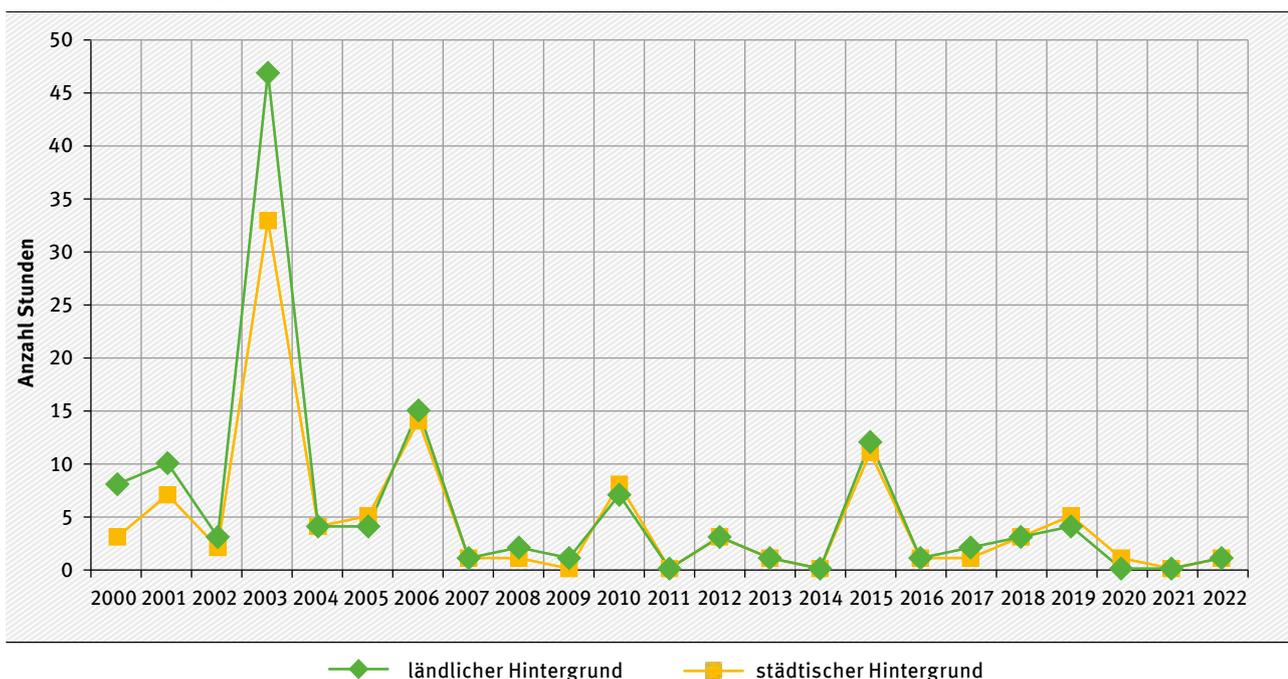
Ozon wird in Deutschland an ungefähr 260 Stationen gemessen. Der höchste 1-Stunden-Mittelwert im Jahr 2022 betrug 228 µg/m³, liegt also auf ähnlichem Niveau wie im Vorjahr (226 µg/m³). Im Jahr 2022 wurde der Alarmschwellenwert von 240 µg/m³ ebenso wie im Vorjahr nicht überschritten. Zu Überschreitungen der Informationsschwelle von 180 µg/m³ kam es an 15 Tagen, das ist deutlich mehr als im Vorjahr (5 Tage). Bezogen auf die mittlere Anzahl von Überschreitungsstunden pro Station ist das Jahr 2022, obwohl etwas höher belastet als das Vorjahr, im Vergleich zu den letzten 20 Jahren dennoch ein wenig von Schwellenwertüberschreitungen betroffenes Jahr (Abbildung 12). Aus dem Vergleich wird auch deutlich, dass die Überschreitungen der Informationsschwelle von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich oft auftreten. So ragt beispielsweise der „Jahrhundert-sommer“ 2003 deutlich heraus. Aber auch das Jahr 2015 mit außergewöhnlich heißen und trockenen Schönwetterperioden im Juli und August weist eine vergleichsweise hohe Ozonbelastung auf.

Grund für die starken Schwankungen der Ozonspitzen über die Jahre hinweg ist die hohe Abhängigkeit der Ozonkonzentrationen vom Wetter. Denn Ozon wird im Gegensatz zu Feinstaub und Stickstoffdioxid nicht direkt emittiert, sondern aus bestimmten Vorläuferstoffen (Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen) bei intensiver Sonneneinstrahlung gebildet. Bei länger anhaltenden sommerlichen Hochdruckwetterlagen kann sich das so gebildete Ozon in den unteren Schichten der Atmosphäre anreichern und dort zu erhöhten Werten führen. Der Sommer 2022 war der sonnigste und gemeinsam mit 2019 der drittwärmste Sommer seit Messbeginn⁵. Mit einem Niederschlagsdefizit von 40 Prozent gilt er als sechstrockenster Sommer seit 1881⁶. Nach mehreren intensiven Hitzewellen im Juni und Juli folgte ein deutlich zu warmer August (zweitwärmster seit Beginn der Aufzeichnungen).

5 Klimatologischer Rückblick Sommer 2022, DWD, https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220921_bericht_sommer2022.html
 6 Deutschlandwetter im Sommer 2022, Pressemitteilung des DWD, https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20220830_deutschlandwetter_sommer2022.html?nn=762256

Abbildung 12

Überschreitungsstunden der Ozon-Informationsschwelle (180 µg/m³) Mittelwert über ausgewählte Stationen, Zeitraum 2000–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

2 O₃-Zielwert und Langfristziel zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Nur an einer Station wurde der Wert von 120 µg/m³ als 8-Stunden-Mittelwert eingehalten, d. h. das langfristige Ziel wurde, genau wie in den Vorjahren, an fast allen Stationen überschritten.

An durchschnittlich 20 Tagen pro Station überschritt im Jahr 2022 der höchste 8-Stunden-Mittelwert eines Tages den Wert von 120 µg/m³, das ist deutlich mehr als im Vorjahr (7). Die Überschreitungen verteilten sich auf 108 Kalendertage.

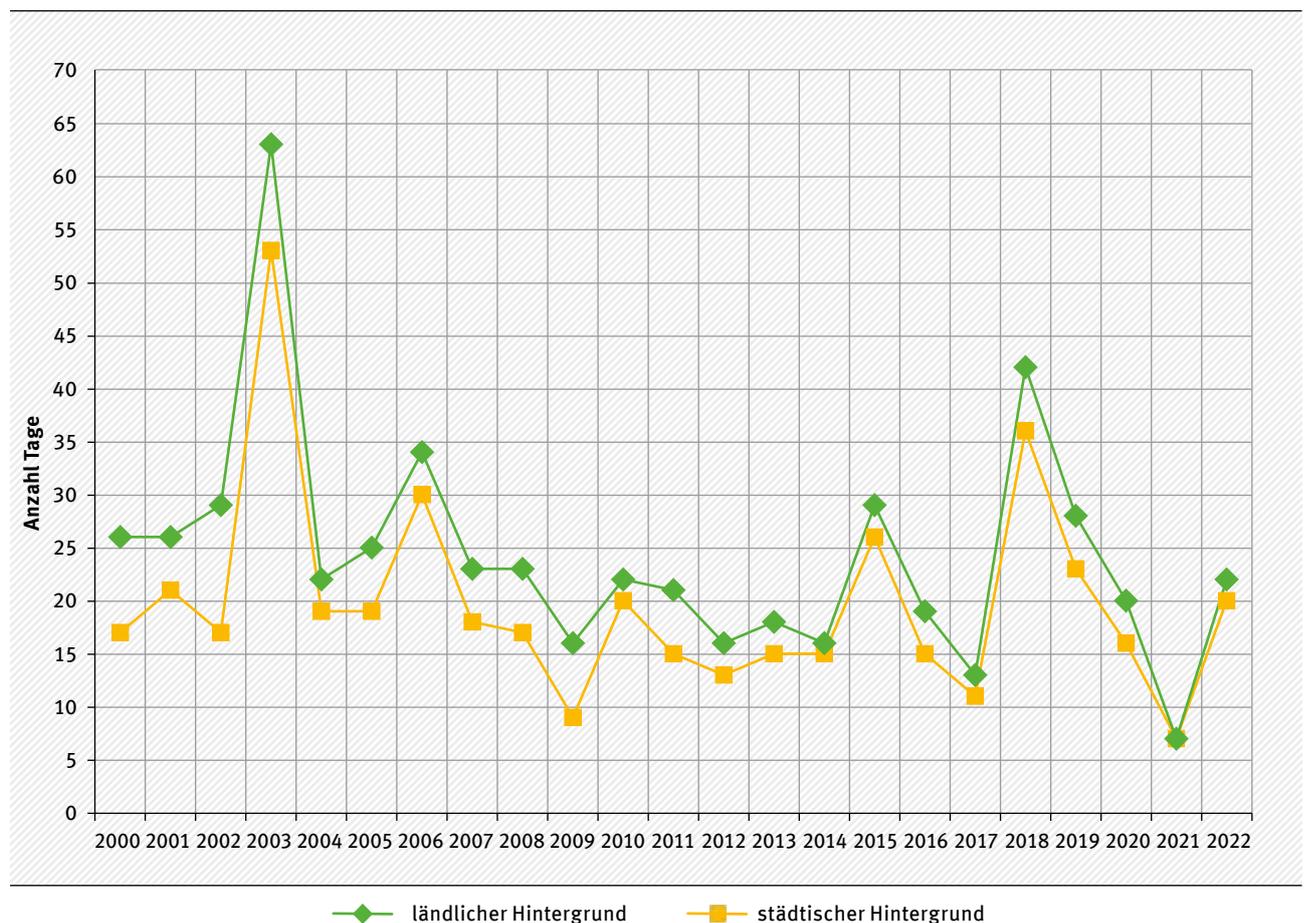
Abbildung 13 zeigt die Entwicklung der Überschreitungstage im Zeitraum 2000 bis 2022: die deutlich sichtbaren Schwankungen zwischen den Jahren entstehen aufgrund unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen. Im Gegensatz zu den Schwellenwertüberschreitungen ist hier kein deutlicher

Rückgang zu erkennen. Generell ist der Norden Deutschlands etwas weniger mit hohen Ozonkonzentrationen belastet (siehe Abbildung 14).

Für den Zielwert zum Schutz der Gesundheit wird ein 3-Jahres-Zeitraum betrachtet: Im Mittel soll nur an 25 Tagen der Wert von 120 µg/m³ im 8-Stundenmittel überschritten werden. Im letzten Mittelungszeitraum von 2020 bis 2022 überschritten 23 Stationen diesen Wert im Mittel an mehr als 25 Tagen, das entspricht genau wie im Vorjahreszeitraum 9 Prozent der Stationen. Abbildung 15 zeigt, dass die meisten Überschreitungen im ländlichen Bereich auftreten – im Unterschied zu den Schadstoffen Feinstaub und Stickstoffdioxid, die in Straßennähe die höchsten Konzentrationen aufweisen, sind gerade an der Straße gemessene Ozonwerte aufgrund chemischer Reaktionen sehr viel niedriger. Deswegen wird an verkehrsnahen Stationen Ozon selten gemessen.

Abbildung 13

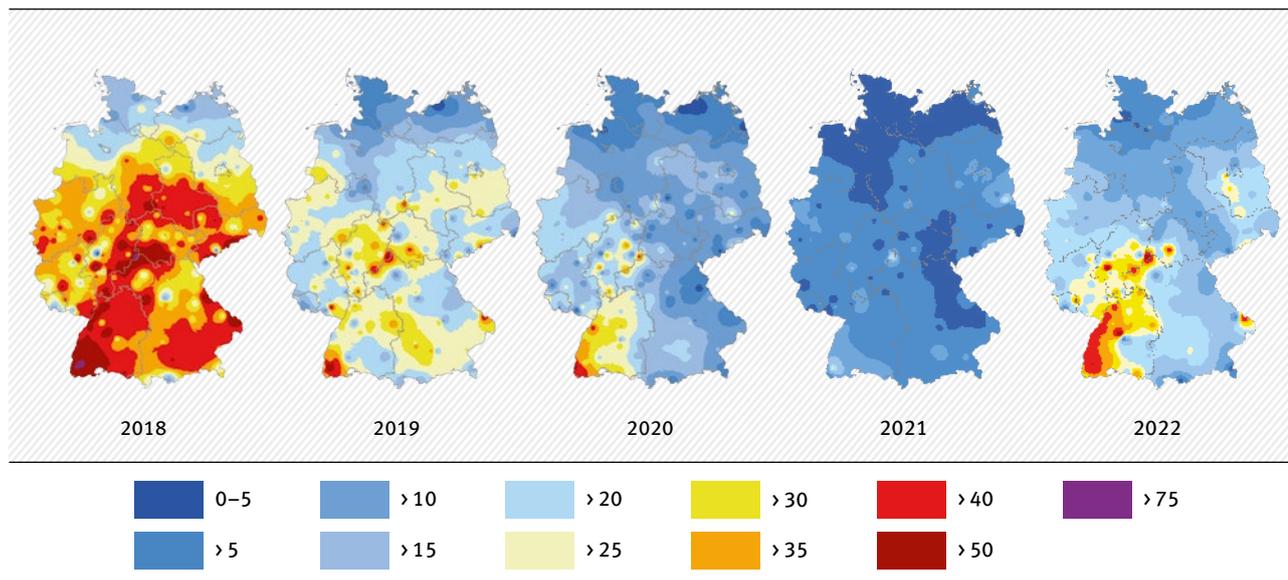
Tage mit Überschreitung des Ozon-Langfristzielwertes (120 µg/m³) Mittelwert über ausgewählte Stationen, Zeitraum 2000–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 14

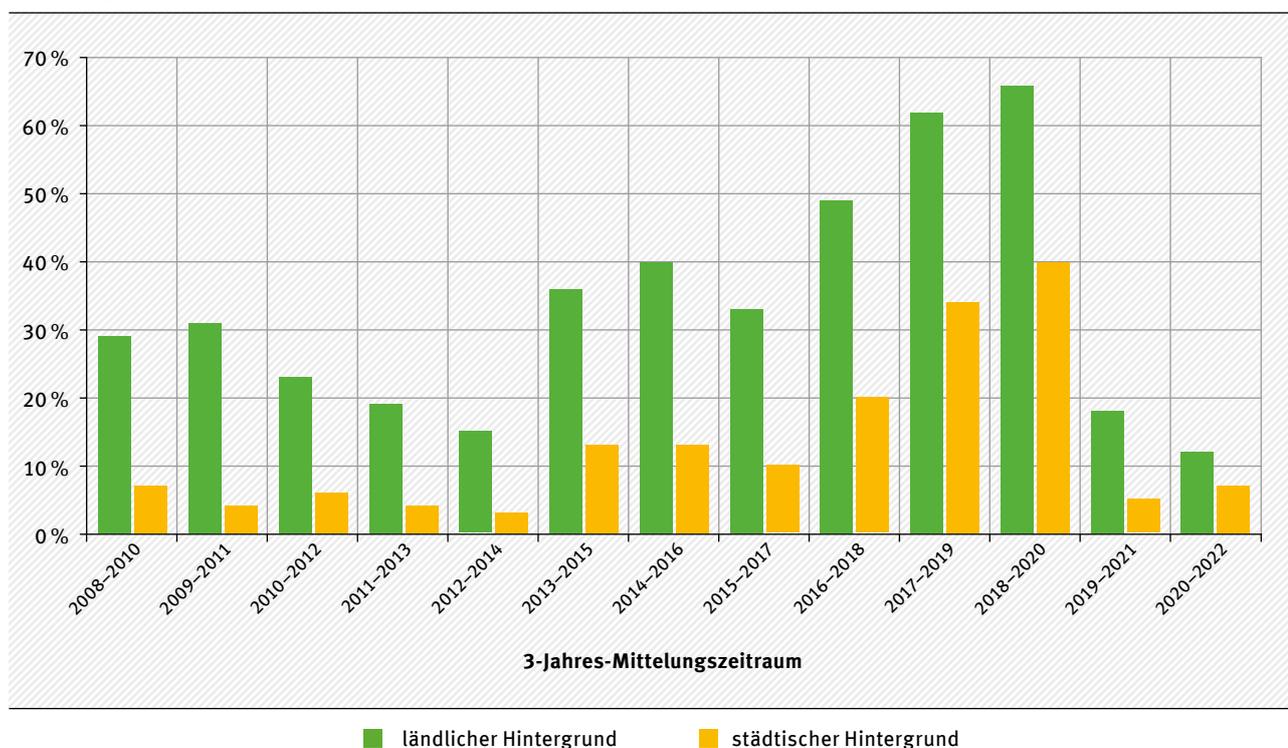
**Räumliche Verteilung der Überschreitungstage des Ozon-Langfristziels zum Schutz der Gesundheit
(Zahl der Tage mit maximalen 8-Stundenmittelwerten > 120 µg/m³)
Zeitraum 2018 bis 2022, erstellt aus Stationsmesswerten und geostatistischem Interpolationsverfahren**



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 15

**Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Ozon-Zielwertes
für den Schutz der Gesundheit, Zeitraum 2010 bis 2022
(jeweils gleitendes Mittel über 3 Jahre basierend auf den Kalenderjahren)**



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Der Richtwert der WHO in Bezug auf die längerfristige Belastung (Peak Season) wurde im Jahr 2022 an allen Stationen verfehlt. Auch der WHO-Richtwert in Bezug auf die kurzfristige Belastung (99. Perzentil der täglich höchsten 8-Stundenmittelwerte eines Jahres) wurde an keiner einzigen Station eingehalten.

3 O₃-Schutz der Vegetation

Für die Ermittlung des Zielwertes für den Schutz der Vegetation (AOT40) werden gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie die rund 160 Messstationen außerhalb von innerstädtischen Gebieten herangezogen. Für den Zielwert (einzuhalten seit dem Jahr 2010) ist eine Mittelung über fünf Jahre vorgesehen. Der Zielwert (18.000 µg/m³ h summiert von Mai bis Juli) wurde für den letzten Mittelungszeitraum von 2018 bis 2022 an 29 von 131 Stationen (= 18 %, Vorjahr: 14 %) überschritten.

Im Jahr 2022 wurde das langfristige Ziel für den Schutz der Vegetation (6.000 µg/m³ h) an keiner Station eingehalten (Vorjahr: 10 Stationen, 6 %). Im Mittel liegt der AOT40-Wert an den ländlichen Hintergrundstationen dieses Jahr etwas überdurchschnittlich im Vergleich zu den anderen Jahren ab 2000, und deutlich über den niedrigeren Werten der Vorjahre 2020 und 2021.

Inzwischen existieren neue Methoden der Wirkungsbewertung für Ozon, die in der NEC-Richtlinie (Richtlinie 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe) für das Wirkungsmonitoring nach Anhang V empfohlen werden. Dabei werden nicht nur die Ozonkonzentration, sondern auch meteorologische Gegebenheiten, das Öffnungsverhalten der Spaltöffnungen der Pflanzen und damit der Ozonfluss in die Pflanze berücksichtigt. 2019 berichtete Deutschland erstmalig Ergebnisse zum Wirkungsmonitoring an die Europäische Umweltagentur: Im Jahr 2017 wurden an allen 21 Messstationen, an denen ausreichend Messdaten für eine Anwendung des neuen ozonflussbasierten Bewertungsmodells vorlagen, die Wirkungsschwellenwerte (Critical Levels) überschritten. Das bedeutet, dass die jeweils in der Umgebung vorhandenen Vegetationstypen (Wald, Acker oder Grasland) einem Risiko durch Ozon ausgesetzt waren. Es wurden ausreichende Bodenfeuchte im Beurteilungszeitraum und damit stets geöffnete Spaltöffnungen der Pflanzen (worst case) unterstellt, was für das relativ feuchte Jahr 2017 eine realistische Annahme ist.

Informationsschwelle

Bei Ozonwerten über 180 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) wird die Öffentlichkeit über die Medien darüber informiert, dass für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen ein Risiko für die Gesundheit besteht.

Alarmschwelle

Bei Ozonwerten über 240 µg/m³ (1-Stundenmittelwert) wird die Öffentlichkeit über die Medien gewarnt, dass für alle Menschen ein Risiko für die Gesundheit besteht.

Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Ozonwerte über 120 µg/m³ (höchster täglicher 8-Stundenmittelwert) sollen an höchstens 25 Tagen im Kalenderjahr auftreten, gemittelt über 3 Jahre. Langfristig sollen die 8-Stundenmittelwerte 120 µg/m³ gar nicht mehr überschreiten.

WHO-Richtwerte 2021

Für die kurzfristige Belastung soll das 99. Perzentil der höchsten täglichen 8-Stundenmittelwerte des Jahres den Wert von 100 µg/m³ nicht überschreiten. Für die längerfristige Belastung soll der Mittelwert über die höchsten täglichen 8-Stundenmittelwerte der sechs aufeinander folgenden Monate mit den höchsten Konzentrationen (Peak Season) den Wert von 60 µg/m³ nicht überschreiten. In Deutschland entspricht dies typischerweise den Monaten April bis September.

Zielwerte zum Schutz der Vegetation (AOT40)

Der Begriff AOT40 (Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 parts per billion) bezeichnet die Summe der Differenzen zwischen den 1-Stundenmittelwerten über 80 µg/m³ (= 40 ppb) und dem Wert 80 µg/m³ zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends, in den Monaten Mai bis Juli. Der AOT40-Zielwert soll als 5-Jahresmittel bereits seit 2010 den Wert von 18.000 µg/m³ h – das sind 9.000 ppb h beziehungsweise 9 ppm h – nicht überschreiten. Langfristig soll der Wert in einem Jahr höchstens 6.000 µg/m³ h – das sind 3.000 ppb h beziehungsweise 3 ppm h – erreichen.

V Herausforderungen in der Luftreinhaltung – unregulierte Luftschadstoffe

1 Hintergrund

Luftschadstoffe werden durch verschiedenste Prozesse und Aktivitäten freigesetzt und beeinträchtigen Mensch und Umwelt. Die wohl bekanntesten Beispiele sind die Smogepisoden in den 1950er Jahren in London und in den 1960er Jahren im Ruhrgebiet. Mitte der 1970er Jahre führten schließlich hohe Schwefeldioxid-Emissionen in ganz Mitteleuropa zum „Sauren Regen“ mit schweren Schädigungen für Mensch und Umwelt. Seitdem werden kontinuierlich Maßnahmen in Deutschland und Europa ergriffen, um die Luftschadstoffe zu reduzieren und die Luftqualität entsprechend zu verbessern. Seit den 1990er-Jahren legen europäische Richtlinien Grenz- und Zielwerte für Luftschadstoffe fest. In der Folge wurden vor allem die Konzentrationen von Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}), Stickstoffdioxid (NO₂), Ozon (O₃), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Blei (Pb) verringert, was zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität geführt hat.

Die Festlegung von Grenzwerten durch die EU erfolgt auf der wissenschaftlichen Grundlage hinsichtlich gesundheitlicher und/oder das Ökosystem betreffender Effekte der jeweiligen Luftschadstoffe. Die 2021 veröffentlichte Überarbeitung der WHO Guidelines zeigt, dass die aktuell geltenden Bestimmungen noch keinen hinreichenden Schutz der menschlichen Gesundheit darstellen. Ökosysteme werden weiterhin vor allem durch Ozon und hohe Ammoniakkonzentrationen gefährdet. Diese Erkenntnisse waren Anlass für die EU-Kommission, für 2030 schärfere Grenzwerte einzufordern und zudem ein überarbeitetes Konzept für die Überwachung der Luftqualität vorzuschlagen. Neben der Überwachung auf Einhaltung von Grenz- und Zielwerten sieht der Vorschlag der EU-Kommission für eine neue Richtlinie zur Luftqualität⁷ weitere Zielstellungen für das Monitoring von Luftschadstoffen vor: Auch nicht durch Grenz- oder Zielwerte geregelte Schadstoffe, zu denen bisher zu wenige Informationen vorliegen, sind mit in den Blick zu nehmen. Zudem müssen auch Vorläuferstoffe,

die zur Bildung zum Beispiel von Ozon und Feinstaub beitragen, erfasst werden, um geeignete Maßnahmen zu deren Minderung identifizieren zu können. Hierfür fordert die EU-Kommission in ihrem Vorschlag die Einrichtung von sogenannten Supersites, die in erster Linie dem Erkenntnisgewinn dienen und nicht auf die Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten ausgerichtet sind.

Zunächst ist jedoch sicherzustellen, dass die gesetzlich festgelegten Luftqualitätsgrenzwerte grundsätzlich überall eingehalten werden. Natürlich ist eine flächendeckende Erfassung der Luftqualität messtechnisch nicht realisierbar. Daher werden die Konzentrationen an einer festgelegten Zahl von Messstellen beobachtet, die idealerweise an den Orten der höchsten Belastung platziert werden. In den letzten Jahren werden Modellrechnungen zunehmend als ergänzende Methode zur Ermittlung der Luftqualität eingesetzt. Hierdurch ist auch eine Zuordnung von Verursachern und eine Beurteilung der Wirkung von Maßnahmen möglich. Um die Einhaltung gesetzlich festgelegter Grenzwerte sicherzustellen, sind hohe Anforderungen an die Qualität der Messungen zu stellen. Der Einsatz von sogenannten Referenzverfahren, die international in CEN-Standards festgelegt werden, und die Durchführung der Messungen ausschließlich durch akkreditierte Labore sind Voraussetzung. Daneben sind aber auch stoffspezifische Datenqualitätsziele zu beachten. Wesentlich ist dabei, dass die Messung vor allem im Bereich der Grenzwerte eine hohe Genauigkeit aufweist. Neben der Modellrechnung dient auch die Messung weiterer Stoffe (für die keine Grenz-/Zielwert festgelegt sind) der Optimierung von Maßnahmen. So lassen Staubinhaltsstoffe beispielsweise einen Rückschluss darauf zu, ob Landwirtschaft oder Verbrennungsprozesse die wesentlichen Verursacher hoher Feinstaubkonzentrationen sind. Für die gezielte Minderung eines sekundären Luftschadstoffs wie Ozon ist die Ermittlung der Vorläuferstoffe unabdingbar. Auch für Vorläuferstoffe existieren häufig bereits standardisierte Verfahren. Dennoch werden nur wenige Erhebungen durchgeführt. Hier gilt es dahingehend zu sensibilisieren, dass die Kenntnis lediglich der durch Grenz-/Zielwerte geregelten Stoffe für eine erfolgreiche Luftreinhalteplanung nicht hinreichend ist.

⁷ EU COM (2022): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels, 26.10.2022; 542 final 2022/0347 (COD)

Neben den bereits dargelegten Zielen ist auch die Erfassung „neuer“ Luftschadstoffe Gegenstand des Monitorings. Erste Hinweise auf die schädliche Wirkung beispielsweise Ultrafeiner Partikel lassen sich nur konkretisieren, wenn an einer hinreichenden Zahl von Messstellen vergleichbare Daten für weitere Studien erhoben werden. Nur dadurch wird es möglich, die Wirkung und die Konzentration zueinander in Beziehung zu setzen und die Relevanz von Verursachern einzuordnen. Für „neue“ Luftschadstoffe existieren häufig noch keine standardisierten Referenzverfahren. Vorhandene Erhebungsmethoden sind wenig etabliert und daher aufwändig und kostspielig. Diese Umstände legen es nahe, zunächst an wenigen Orten, die aber möglichst repräsentativ sein sollten, orientierende Messungen durchzuführen und die Beobachtungen anhand der Datenauswertung zu optimieren.

2 Ultrafeinstaub

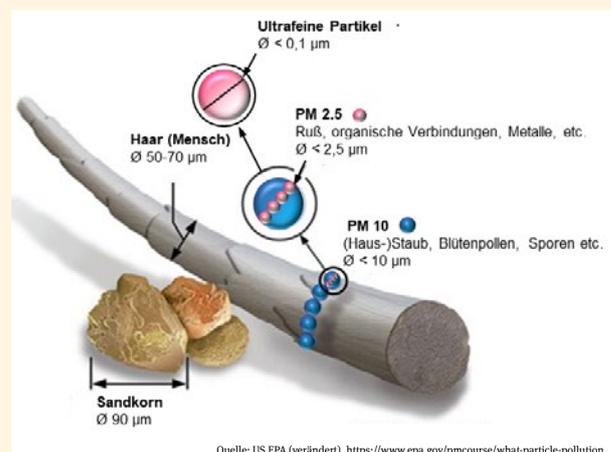
Ultrafeine Partikel (UFP) entstehen bei nahezu allen natürlichen und technischen Verbrennungsprozessen und werden hierbei direkt als Partikel emittiert oder stellen die Vorläufersubstanzen dar, aus denen sich schließlich UFP bilden. Quellen von UFP sind u. a. der Verkehr allgemein und Flughäfen insbesondere, sowie Feuerungsanlagen, die Industrie und Landwirtschaft. Kurzum, UFP treten vom häuslichen Kamin bis zur Müllverbrennungsanlage auf und sind in dem Maße, in dem sie auftreten, hoch variabel, je nachdem ob die Quelle gerade emittiert oder nicht. Zudem weisen medizinische Studien darauf hin, dass UFP in der Außenluft ein gesundheitliches Risiko darstellen. Dieses Risiko lässt sich aber bisher nicht eindeutig quantifizieren, so dass es für UFP noch weitestgehend keine beschränkenden Regulierungen

gibt. Lediglich emissionsseitig, also z. B. direkt am Auspuff von Kraftfahrzeugen, bestehen bereits Regulierungen der erlaubten Anzahl an ausstoßbaren Partikeln. Noch nicht reguliert ist jedoch das, was bei Menschen und Umwelt tatsächlich ankommt (Immission). So lässt sich festhalten, dass die wesentlichen Emittenten grundsätzlich identifiziert, jedoch nur in Teilen quantifiziert sind. Zudem existieren noch nicht ausreichend gesundheitliche Studien zur Wirkung von UFP, die bisher zu einem Grenzwert hätten führen können. Die Erfassung von UFP ist zwar grundsätzlich standardisiert, es bedarf jedoch noch weiterer Abstimmungs- und Normungsbemühungen im Detail. Zur Verbesserung der Zuordnung von Verursachern müssen zudem Modellrechnungen und Vorhersagemodelle weiterentwickelt werden: Das betrifft u. a. die Beschreibung der Partikelbildung im Modell, die Einbindung nicht volatiler und volatiler Bestandteile sowie die Erstellung von Emissionsinventaren von UFP und ihren Vorläuferstoffen. Von der gesundheitlichen Sichtweise zeigt sich noch kein klares, aber doch tendenzielles Bild möglicher schädlicher Effekte von UFP auf den Menschen. Um dies weiter zu klären, ist es notwendig, weitere epidemiologische Studien zu den unterschiedlichen Kurz- und insbesondere auch Langzeiteffekten von UFP durchzuführen. Hierbei ist vor allem die hohe räumlich-zeitliche Variabilität von UFP zu berücksichtigen und auf die Vergleichbarkeit von Messungen und medizinischen Untersuchungen zu achten.

Die Weltgesundheitsorganisation sieht in ihrem neuesten Bericht zur Luftqualität von 2021 UFP als einen Schadstoff von besonderem Interesse, wenngleich die Datenlage noch keine Empfehlung von Grenzwerten erlaubt.

Ultrafeinstaub oder Ultrafeine Partikel (UFP) sind winzig kleine über die Luft transportierte Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 100 nm (0,1 μm) und somit grob 500–700-mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares.

Partikelgrößen (\emptyset = Durchmesser) im Vergleich zu einem menschlichen Haar



Die WHO rät dazu, standardisierte Messverfahren weiter zu entwickeln und dauerhaft einzusetzen, um so einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den Ergebnissen verschiedener Studien zu ermöglichen.

Die EU-Kommission ist einer Messverpflichtung für UFP im Rahmen von Supersites in ihrem Vorschlag für eine neue Richtlinie zur Luftqualität⁸ nachgekommen.

Fazit:

- ▶ Bisher durchgeführte UFP-Messungen sind hinreichend vergleichbar, um unterschiedliche Belastungsräume zu identifizieren. Erhöhte UFP-Anzahlkonzentrationen treten u. a. im innerstädtischen Raum, in Verkehrsnähe, in Innenräumen und in der Umgebung von Flughäfen auf.
- ▶ Vorliegende Wirkungsstudien belegen, dass UFP in der Außenluft ein gesundheitliches Risiko darstellen können, das sich aber bisher nicht eindeutig quantifizieren lässt und nicht mit dem gesundheitlichen Risiko verursacht durch Feinstaub vergleichbar ist.

3 Black Carbon

Black Carbon (BC) ist kein eindeutig definierter Inhaltsstoff oder Messparameter, sondern wird aktuell durch die verwendete Messmethode definiert. Für Aerosolmessungen werden zumeist die Definitionen der Global Atmospheric Watch (GAW) Scientific Advisory Group verwendet. Bei der Messung von

BC macht man sich dabei vor allem die optischen Eigenschaften von Kohlenstoff zunutze, indem die Veränderung von Strahlung erfasst wird. Die thermisch-optische Methode analysiert den Massengehalt an Elementarem/Organischem Kohlenstoff (EC/OC), indem das Material schrittweise erhitzt und hierbei die Veränderung von Strahlung detektiert wird. Diese Methode ist bereits genormt, so dass diese Messungen europaweit vergleichbar sind. Bei der rein optischen Methode handelt es sich um eine nahezu in Echtzeit erfolgende Aufzeichnung der Störung der Strahlung durch BC (ohne Erhitzung).

In den letzten Jahren haben viele Studien gezeigt, dass beide Methoden zuverlässige Daten liefern und unter bestimmten Anstrengungen miteinander vergleichbar sind. Entsprechend ist in den kommenden Jahren mit standardisierten und normierten Messverfahren für beide Methodiken zu rechnen, welche wiederum den Grundstein für eine mögliche Regulierung von BC mit einem Grenz-/Zielwert legen.

Dass eine mögliche Regulierung stattfinden sollte, belegen gesundheitliche Studien. So zeigen Wirkungsstudien, dass BC in der Außenluft ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt. Dabei eignet sich BC, im Vergleich zur Masse von Feinstaub, insbesondere zur Ermittlung und Vorhersage möglicher gesundheitlicher Effekte durch primäre Verbrennungspartikel und liefert somit zusätzliche Informationen über mögliche gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln. Folglich betrachtet die WHO in ihrem jüngsten Bericht über die Luftqualität

Ruß, oft auch als **Black Carbon** (BC) bezeichnet, entsteht bei unvollständiger Verbrennung von fossilen Energieträgern, Biomasse und Biokraftstoff. Die wichtigsten BC-Quellen sind das Verbrennen von Material und fossilen Energieträgern im Freien, Haushalte, der Verkehr und die Industrie. Charakteristisch für Black Carbon ist u. a. die durch ihn bei Ablagerung hervorgerufene Schwärze.

Ein Aerosol ist ein in einem Gas, hier in der Luft, schwebendes Gemisch aus festen und/oder flüssigen Teilchen.



Frischer und belegter Staubfilter im Vergleich. Die Schwärze ist vor allem auf Black Carbon zurückzuführen.

8 EU COM (2022): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels, 26.10.2022; 542 final 2022/0347 (COD)

auch Black Carbon als einen Parameter von besonderem Interesse, gibt aber gleichzeitig keinen Richtwert an. Und auch auf europäischer und nationaler Ebene ist BC nicht durch Grenz-/Zielwerte reguliert, denn aus gesundheitlicher Sicht lassen sich die Wirkungen von BC, PM₁₀ oder PM_{2,5} derzeit noch nicht eindeutig und ausreichend voneinander unterscheiden und quantifizieren.

Fazit:

- ▶ Bisher durchgeführte Messungen sind noch nicht hinreichend vergleichbar, um unterschiedliche Belastungsräume zu identifizieren. Jedoch zeigen sich erhöhte BC-Konzentrationen vor allem in Verkehrsnahe.
- ▶ Vorliegende Wirkungsstudien belegen, dass Black Carbon in der Außenluft ein gesundheitliches Risiko darstellt, dass sich aber bisher nicht eindeutig von dem gesundheitlichen Risiko verursacht durch Feinstaub unterscheiden lässt. Dennoch eignet er sich im Vergleich zu Feinstaub vermutlich besser, um mögliche gesundheitliche Effekte – spezifisch durch Verbrennungsprozesse insbesondere des Verkehrs – zu beurteilen.

4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungen sind flüchtige organische Verbindungen (englisch: volatile organic compounds, VOC) mehr oder weniger reguliert oder bedürfen einer Regulierung. So können VOC gesundheitsgefährdend sein, wie beispielsweise Benzol oder 1,3-Butadien, welche als krebserregend eingestuft sind. Gleichzeitig stellen sie insbesondere in der Außenluft bodennahe Ozonvorläufer-substanzen (zusammen mit Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid) dar, die zu einer erhöhten, schädlichen Ozonkonzentration führen können. Hinzu kommt die hohe Klimawirksamkeit einiger VOC, wie beispielsweise Methan oder der Fluorchlor-kohlenwasserstoffe mit der Folge einer Verstärkung der globalen Erwärmung.

VOC stammen dabei aus den unterschiedlichsten Quellen und können natürlichen oder menschlichen Ursprungs sein. Die natürlichen Quellen (insbesondere Emissionen durch die Vegetation) können und sollten nicht verändert oder reguliert werden, da dies einen Eingriff in unser empfindliches Ökosystem darstellen würde. Regulierbar und damit reduzierbar

Flüchtige organische Verbindungen

(englisch: volatile organic compounds, VOC) sind eine Vielzahl von kohlenstoffhaltigen Substanzen, die in der Luft aufgrund ihres niedrigen Siedepunkts überwiegend gasförmig, also „verflüchtigt“, vorkommen.

sind jedoch VOC-Emissionen menschlichen Ursprungs, die beispielsweise durch den Verkehr, die Industrie, das Verdampfen von Treibstoffen und vor allem auch von Lösungsmitteln in die Luft abgegeben werden. VOC zeichnen sich somit durch sehr unterschiedliche Quellen und auch Wirkungsorte aus. Einige Quellen sind zumindest teilweise reguliert, so die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beispielsweise aus größeren Spritzanlagen. Inbegriffen sind dadurch auch Beschränkungen des Lösemittelgehalts in Produkten selbst, z. B. für Beschichtungen von Bauprodukten wie Holzfassaden, Treppen, Fenstern, Türen etc. (EU-Richtlinie 1999/13/EG, EU-Richtlinie 2004/42/EG). Insbesondere in Innenräumen sind gesundheitsschädliche Emissionen von VOC beispielsweise durch Ausdünstungen aus Lacken, Farben oder Möbeln zu vermeiden. Entsprechend bestehen für Innenräume sogenannte Richtwerte, welche vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte⁹ empfohlen werden, um sich wirksam vor gesundheitlichen Schäden durch VOC in Innenräumen zu schützen. Gleichwohl sind diese Richtwerte nicht verbindlich. Hier besteht aus gesundheitlicher Sicht weiterer Handlungsbedarf hin zu einer möglichen verbindlichen Regulierung. Jedoch stellt dies eine sehr große Herausforderung dar, da rechtlich die Regelung in privaten Haushalten nicht zulässig ist. Ebenso gestaltet sich ein entsprechendes Monitoring als nahezu nicht umsetzbar. Somit bleibt als wichtiges Instrument die Regulierung von VOC-haltigen Produkten und deren Verarbeitung und Verwendung beispielsweise auch am Arbeitsplatz.

Bezüglich ihrer Rolle als Ozonvorläufersubstanzen stellen VOC vor allem in städtischen Gebieten ein sich verstärkendes Problem dar.

⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#ausschuss-fur-innenraumrichtwerte-air>

Die zunehmende Häufigkeit von Hitzeperioden in den letzten Jahren in Deutschland zeigt zwar keine Zunahme der Ozonspitzenkonzentrationen, jedoch nimmt die mittlere Ozonkonzentration in Städten zu (siehe Abbildung 16).

Für die zur Ozonbildung beitragenden VOC besteht bis dato nur eine eingeschränkte Anforderung zur Überwachung der Konzentrationen in der Außenluft. Die geltende Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG) und auch der Vorschlag für eine Revision dieser regeln lediglich die verpflichtende Messung der Ozonvorläuferstoffe Stickstoffoxide und Benzol. Die Erfassung weiterer VOCs wird zwar allgemein gefordert, jedoch ist kein Mindestumfang der zu messenden Komponenten festgelegt. Es existiert lediglich eine Empfehlung „geeigneter“ VOC. In Deutschland wird demnach und im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention nur ein Teil der empfohlenen VOCs an ländlichen Hintergrundstationen erfasst.

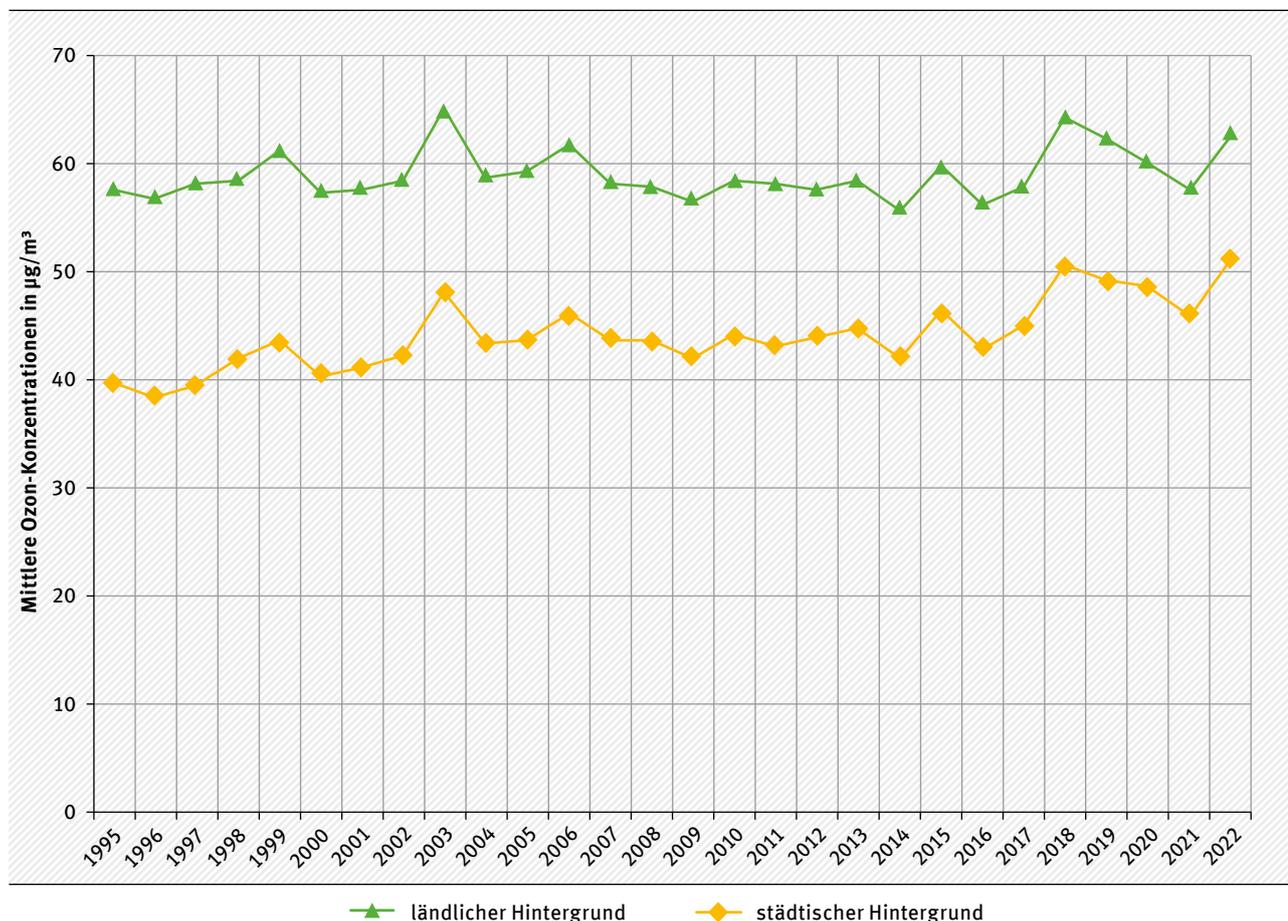
Die dort gewonnenen Informationen reichen jedoch nicht aus, um auch für städtische Gebiete den Beitrag der VOC zur Ozonentstehung abzuschätzen.

Fazit:

- ▶ Es besteht eine wirksame Regulierung von VOC, welche insbesondere den Gesundheitsaspekt im Blick hat. Jedoch ist eine verbindlichere VOC-Überwachung in Innenräumen erstrebenswert.
- ▶ Eine verbindliche Erfassung von VOCs in der Außenluft, vor allem auch im städtischen Raum ist notwendig, um auf das wachsende Problem der Ozonkonzentrationen reagieren zu können.
- ▶ Zur Begrenzung der globalen Erwärmung ist es dringend notwendig, klimawirksame VOC-Emissionen weiter zu reduzieren.

Abbildung 16

Trend der Ozon-Jahresmittelwerte



Quelle: Umweltbundesamt 2023

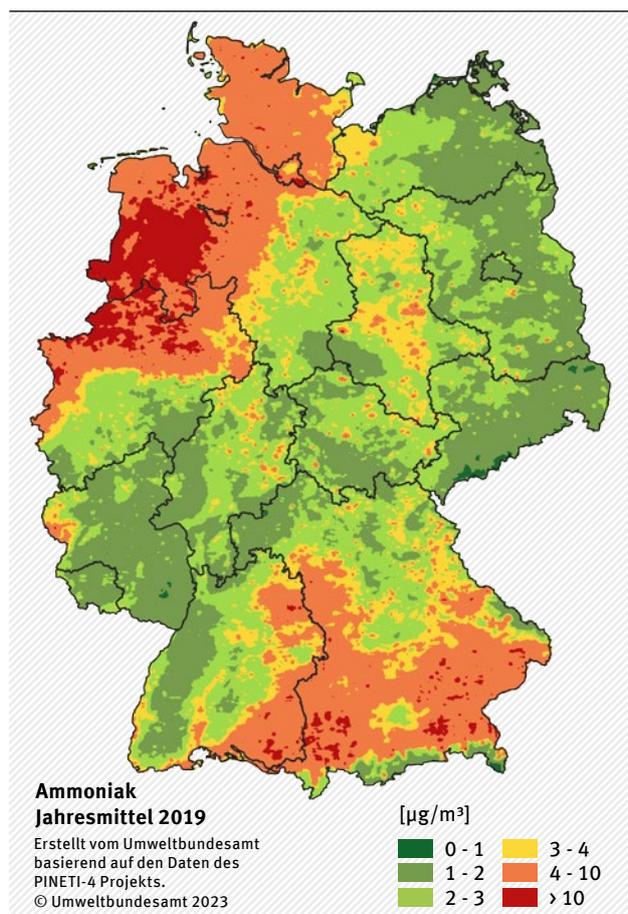
5 Ammoniak

Ammoniakbelastung und deren Bewertung

Bisher gibt es auf europäischer Ebene keinen rechtlich verankerten Ammoniak-Grenzwert zum Schutz von Ökosystemen. Orientierungswerte für maximale Ammoniakkonzentrationen, bei deren Überschreitung negative Folgen für die Vegetation zu erwarten sind, bieten die sogenannten Critical Levels der Genfer Luftreinhaltekonvention¹⁰ von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für empfindliche Spezies, wie z. B. Flechten und Moose, und $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für höhere Pflanzen. Die in Abbildung 17 dargestellte Modellrechnung der jahresmittleren Ammoniakkonzentration zeigt, dass die Critical Levels für Ammoniak in vielen Regionen Deutschlands großflächig überschritten werden.

Abbildung 17

Modellrechnung der Ammoniakkonzentration für das Jahr 2019



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Ammoniak ist eine gasförmige Verbindung des Stickstoffs.

Es gelangt hauptsächlich durch Emissionen aus der Landwirtschaft in die Luft. Ammoniak kann verschiedene negative Wirkungen für die menschliche Gesundheit sowie für Pflanzen und Ökosysteme haben:

- ▶ Es reagiert mit anderen Luftschadstoffen und bildet Feinstaub.
- ▶ Es trägt zur Eutrophierung und Versauerung von natürlichen und halbnatürlichen Ökosystemen wie Wäldern, Heiden oder Trockengraslandschaften bei.
- ▶ Es kann direkt pflanzentoxisch wirken und dadurch die Gesundheit von Pflanzen und die Stabilität von Ökosystemen beeinträchtigen.

In Deutschland stammen ca. 95 % der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung und dem Einsatz von mineralischen Düngemitteln¹¹. Im Gegensatz zu den stetig abnehmenden Emissionen anderer Luftschadstoffe, ist die Höhe der Ammoniakemissionen seit den 1990-Jahren nahezu konstant geblieben (siehe Abbildung 18), erst in den letzten fünf Jahren ist ein Abwärtstrend zu verzeichnen.

Verschiedene rechtliche Regelungen in Europa und auch in Deutschland setzen hier an und geben Anforderungen zur Minderung der Ammoniakemissionen vor. Dazu gehören die Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe¹², gemäß derer Deutschland bis 2030 die Ammoniakemissionen um 29% gegenüber 2005 reduzieren muss sowie die Industrieemissions-Richtlinie¹³, die u. a. die Zulassung und den Betrieb von großen Tierhaltungsanlagen regelt. In Deutschland greift das Bundes-Immissionsschutzgesetz¹⁴ ergänzt um die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft¹⁵ diese Vorgaben auf.

11 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#entwicklung-seit-1990> aufgerufen am 21.12.2022

12 NEC-Richtlinie (2016): Richtlinie (EU)2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG aufgerufen am 21.12.2022 unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32016L2284>

13 IED Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Vermeidung der Umweltverschmutzung) aufgerufen am 21.12.2022 unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:de:PDF>

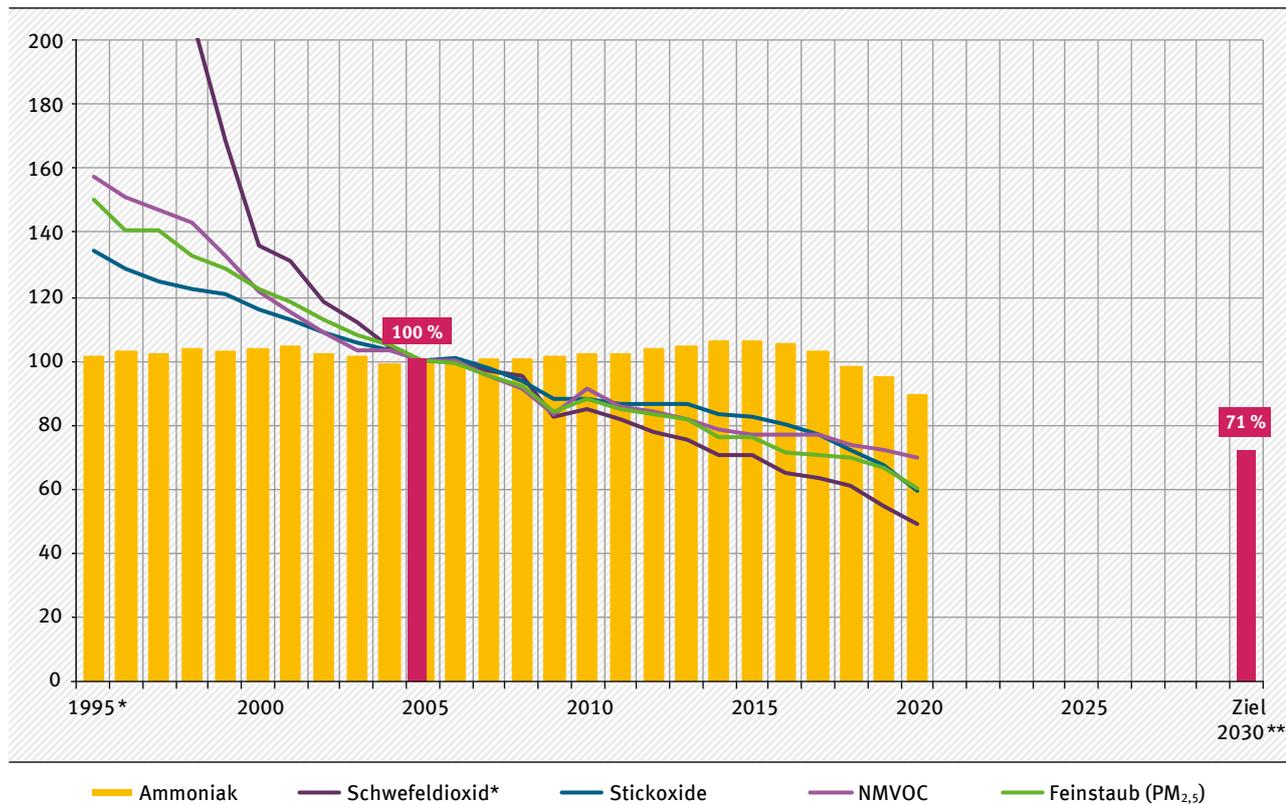
14 <https://www.gesetze-im-internet.de/bimsgch/>

15 https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm

10 UN ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (2007): Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts

Abbildung 18

Entwicklung der Ammoniak-Emissionen in Prozent gegenüber 2005 im Vergleich zu anderen Luftschadstoffen



* Wert Schwefeldioxid 1995: 360

** Der Zielwert für Ammoniak gibt eine Emissionsminderung um 29% gegenüber 2005 vor und basiert auf den Verpflichtungen aus der „National Emission Ceilings Directive“ (NEC-Richtlinie) der EU sowie auf dem Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung

Eigene Darstellung, Umweltbundesamt, 2022. Datengrundlage sind die Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2020 (Stand 02/2022)

Während eine Reihe von rechtlichen Vorgaben zur Reduzierung von Emissionen existiert, fehlt nicht nur eine ökologisch ausgerichtete, rechtlich bindende Überwachung der Ammoniakkonzentration in der Luft, sondern bislang sind auch keine einzuhaltenden Konzentrationswerte in das europäische oder nationale Recht aufgenommen.

Bedarf eines Monitorings von Ammoniak zum Schutz von Ökosystemen

Um die direkten Wirkungen von Ammoniak auf Ökosysteme zu bewerten und ggf. gezielte Maßnahmen zu deren Minderung treffen zu können, ist die Kenntnis der Ammoniakkonzentration in potentiell gefährdeten Ökosystemen notwendig.

Ammoniak wird an den sieben ländlichen Hintergrundstationen des Umweltbundesamtes gemessen. Zudem führen fast alle Bundesländer – mit Ausnahme der Stadtstaaten – innerhalb ihrer bestehenden Messnetze zur Luftqualität und an Standorten des forstlichen Umweltmonitorings Messungen durch. Die Ziele der einzelnen Messprogramme von Bund und Länder unterscheiden sich. So können sie zur Überwachung der Hintergrundkonzentration und deren Entwicklung dienen oder direkt auf den Schutz von Ökosystemen ausgerichtet sein. Auch werden vermehrt Ammoniakmessungen an verkehrsnahen Standorten durchgeführt, u. a. um die Auswirkungen der Abgasnachbehandlung bei Dieselmotoren, bei der Ammoniak freigesetzt werden kann, und dessen Rolle auf die Feinstaubbildung zu verstehen.

Insgesamt werden deutschlandweit derzeit an mehr als 120 Stationen Ammoniakmessdaten erhoben. Gemessen an der heterogenen Verteilung von Ammoniak und der unterschiedlichen Ökosysteme ist die Anzahl der in Deutschland betriebenen Messungen im Vergleich zu Ländern wie den Niederlanden oder der Schweiz allerdings gering.

Fazit:

- ▶ Die Messung von Ammoniak zur Überwachung der Luftqualität ist bisher nicht gesetzlich vorgeschrieben. Es gibt keine Grenz- oder Zielwerte für die Ammoniakkonzentration in der Luft.
- ▶ Die Ziele des Ammoniakmonitorings sollten künftig durch eine stärkere Abstimmung zwischen den einzelnen Messprogrammen von Bund und Länder geschärft werden.
- ▶ Die Ammoniakkonzentrationen sind in vielen Regionen Deutschlands zu hoch und müssen durch Maßnahmen vor allem in der Landwirtschaft – und hier vor allen bei der Tierhaltung – reduziert werden.



Messung von Ammoniak an der UBA-Hintergrundstation Waldhof (in Niedersachsen) mittels sog. Denuder (Bildmitte).

Weitere Informationen zum Thema

Luftportal:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten>

App Luftqualität:

<https://www.umweltbundesamt.de/app-luftqualitaet>

Portal Luft und Luftreinhaltung:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft>

UBA-Kartendienst zu Luftschadstoffen:

<http://gis.uba.de/Website/luft/index.html>

UBA-Kartendienst zu Umweltzonen und Luftreinhalteplänen:

<http://gis.uba.de/website/umweltzonen/index.html>

Entwicklung der Luftqualität in Deutschland:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/daten-karten/entwicklung-der-luftqualitaet>

Information zum Schadstoff Feinstaub:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/feinstaub>

Information zum Schadstoff NO₂:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe/stickstoffoxide>

Information zum Schadstoff Ozon:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe/ozon>

39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes:

https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/