Für Mensch und Umwelt

Stand: November 2026

Luftqualität in Deutschland 2025

Endgültige Auswertung

Umweltbundesamt
Fachgebiet II 4.2
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
www.umweltbundesamt.de

Inhaltsverzeichnis

1 Beurteilung der Luftqualität in Deutschland 4

1.1 Ursachen der Belastung 4

1.2 Wo gemessen wird 4

1.3 Messstationen 5

2 Rechtlicher Hintergrund 7

2.1 Luftqualitätsstandards 7

2.2 Luftreinhalte- und Aktionspläne 7

2.3 Berichterstattung und Information der Bevölkerung 7

2.3.1 Vorläufige Daten 7

2.3.2 Endgültige Daten 9

3 Luftqualitätsstandards der EU und der WHO 10

4 Überblick Überschreitungen 2025 12

4.1 Überschreitungen auf Basis von EU-Grenz-/Zielwerten 12

4.2 Überschreitungen auf Basis von WHO-Richtwerten 13

4.3 Wetter in Deutschland 2025 13

5 Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol 14

5.1 Schwefeldioxid (SO_2) 14

5.1.1 Freisetzung 14

5.1.2 Belastung 15

5.1.3 Entwicklung 16

5.2 Kohlenmonoxid (CO) 17

5.2.1 Freisetzung 17

5.2.2 Belastung 17

5.2.3 Entwicklung 18

5.3 Benzol 19

5.3.1 Freisetzung 19

5.3.2 Belastung 19

5.3.3 Entwicklung 19

6 Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon 21

6.1 Stickstoffdioxid (NO_2) 21

6.1.1 Freisetzung 21

6.1.2 Belastung 22

6.1.3 Entwicklung 24

6.2 Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) 24

6.2.1 Freisetzung 25
6.2.2 Belastung 26
6.2.3 Entwicklung 28
6.3 Ozon 30
6.3.1 Freisetzung 30
6.3.2 Belastung 31
6.3.3 Entwicklung 32
7 Staubinhaltsstoffe 34
7.1 Blei, Cadmium, Nickel, Arsen und B(a)P im PM_{10} 34
7.1.1 Freisetzung 34
7.1.2 Belastung 35
7.1.3 Entwicklung 39

1 Beurteilung der Luftqualität in Deutschland

1.1 Ursachen der Belastung

Die Reinhaltung der Luft folgt EU-weit folgendem Prinzip: Erhaltung der Luftqualität dort, wo sie gut ist, und Verbesserung der Luftqualität, wo das nicht der Fall ist. Die Lösung dieses Problems ist nicht einfach, da fast alle menschlichen Aktivitäten nennenswerte Emissionen von Luftverunreinigungen verursachen und damit Luftreinhaltung zu einer komplexen und schwierigen Aufgabe machen. Die Luftqualität, die Beschaffenheit der Luft, 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 sowie eine Reihe von Schwermetallen. 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. Schadstoffe können auch grenzüberschreitend transportiert werden und die Luftqualität beeinträchtigen. Die Höhe der Belastung wird zudem von der Witterung mit beeinflusst. Ist es kalt, steigen die Emissionen gewöhnlich, weil 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.

1.2 Wo gemessen wird

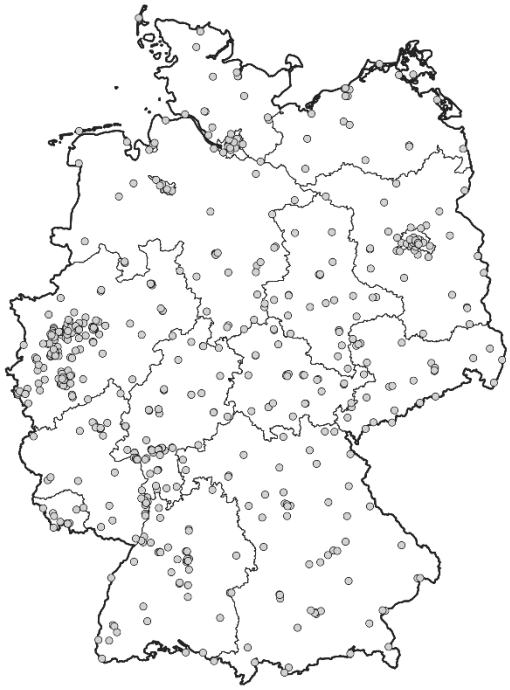
Grundlage der Beurteilung der Luftqualität in Europa bildet die EU-Richtlinie 2008/50/EG, die zusammen mit der EU-Richtlinie 2004/107/EG mithilfe der 39. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt wurde. Die Beurteilung der Luftqualität für den Schutz der menschlichen Gesundheit muss flächendeckend, d.h. für die gesamte Fläche Deutschlands erfolgen. Dafür legen die zuständigen Behörden auf Landesebene so genannte Beurteilungsgebiete und Ballungsräume fest. Ausgenommen sind Bereiche, zu denen die Öffentlichkeit keinen Zugang hat, Industriegelände, für die relevante Bestimmungen über Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz gelten und Fahrbahnen und Mittelstreifen der Straßen. Innerhalb dieser Beurteilungsgebiete und Ballungsräume werden aus umfangreichen Datenerhebungen (Messungen, Informationen aus Emissionskatastern und Modellen) die Grundbelastung und die Orte der höchsten Belastung ermittelt. Neben der Belastung im Vergleich zu schadstoffspezifischen Beurteilungsschwellen spielt die Anzahl der Menschen pro Beurteilungsgebiet/Ballungsraum eine wichtige Rolle: beides zusammen bestimmt die Anzahl und Art der Messstationen, die dann zur eigentlichen Beurteilung der Luftqualität genutzt werden. Grundsätzlich gilt: je höher die Grundbelastung und Bevölkerungszahl, desto intensiver (zeitlich und räumlich) muss gemessen werden.

1.3 Messstationen

Da die Überwachung und somit die Messung der Luftqualität in Deutschland den Bundesländern obliegt, werden die Messstationen vor Ort von 16 Landesumweltämtern geplant und betrieben. Deren Messungen konzentrieren sich zum Schutz der Bevölkerung vor allem auf Gebiete, in denen mit hohen Schadstoffkonzentrationen gerechnet werden muss und wo ggf. Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität eingeleitet werden müssen, z.B. in Städten, Ballungsräumen, Gebieten mit hoher Verkehrsdichte oder in der Nähe von Industrieanlagen. Die Schadstoffkonzentrationen in der Luft werden mehrmals am Tag an mehr als 650 Messstationen deutschlandweit gemessen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1:

Luftmessstationen in Deutschland 2023



Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes hingegen hat die Aufgabe, mit 7 Messstationen die Luftqualität fernab und weitestgehend unbeeinflusst von direkten Schadstoffquellen zu ermitteln. Im ländlichen Bereich gelegen, können mit diesen Stationen weiträumig und grenzüberschreitend herantransportierte Luftmassen untersucht werden.

Um eine Vergleichbarkeit der Messungen zu gewährleisten, ist die Art der Messungen (Messumgebungen und Messmethoden) europaweit standardisiert. Jede Messstation ist durch zwei wichtige Charakteristika geprägt: die Umgebung, in der sie steht (ländlich oder städtisch/vorstädtisch) und die dominante Emissionsquelle vor Ort (verkehrsnah, industrienah, Hintergrund). Aus der Kombination „Umgebung“ und „dominante Emissionsquelle“ ergeben sich für die weitere Betrachtung vier Beurteilungsregimes: Das Regime »ländlicher Hintergrund« steht für Bereiche, in denen die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen und anthropogenen Emissionen sein sollte. Stationen in diesem Regime repräsentieren somit ein Mindestbelastungsniveau, den so genannten großräumigen Hintergrund. Messungen dürfen nicht durch nahe (d. h. näher als fünf Kilometer) liegende Ballungsräume oder Industriegebiete beeinflusst sein. Das Regime »städtischer Hintergrund« ist charakteristisch für Bereiche, in denen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen als typisch für die Luftqualität im Großteil der Stadt, v.a. in Wohngebieten angesehen werden können. Die Belastung ergibt sich dabei aus den Emissionen der Stadt selbst (Straßenverkehr,

Heizungen, Industrie etc.) und denen des großräumigen Hintergrunds. Die Messstationen müssen so gelegen sein, dass die gemessene Verschmutzung den integrierten Beitrag sämtlicher Quellen im Luv der Station erfasst. Für die gemessene Verschmutzung sollte nicht eine Quelle vorherrschend sein, es sei denn, dies ist für ein größeres städtisches Gebiet typisch. Die Belastung muss für einen Bereich von mehreren Quadratkilometern repräsentativ sein. Stationen des Regimes »städtisch verkehrsnah« befinden sich typischerweise an stark befahrenen Straßen. Zur städtischen Hintergrundbelastung kommt hier noch der Beitrag dazu, der durch direkte Emissionen des Straßenverkehrs entsteht. Solche Messstationen befinden sich in unmittelbarer Nähe zum Verkehr neben der Fahrbahn. Die so gemessenen, hohen Belastungen sind dann repräsentativ für die Luftqualität für einen mindestens 100 m langen Abschnitt der betroffenen Straße, nicht aber zwangsläufig für angrenzende Straßen und Wohngebiete.

Neben dem Grundprinzip, am Ort der höchsten Belastung zu messen, macht die Richtlinie konkrete Vorgaben zum Abstand verkehrsnaher Messstationen zur nächsten Kreuzung, zum Fahrbahnrand, zu Gebäuden, zu den Anströmungsbedingungen und auch zur Höhe der Messeinlassöffnung. Demnach soll eine verkehrsnahe Station z.B. nicht weiter als 10 m vom Fahrbahnrand und mindestens 25 m entfernt von einer verkehrsreichen Kreuzung aufgestellt werden. Zusätzlich müssen jedoch auch Störfaktoren (z.B. Bäume, Balkone), Sicherheit, Zugänglichkeit, Stromversorgung und Telefonleitungen, Sichtbarkeit der Messstation in der Umgebung und Sicherheit der Öffentlichkeit und des Betriebspersonals bei der Standortwahl berücksichtigt werden (Anlage 3 C der 39. BImSchV).

»Industrienahe Messungen« befinden sich in Wohngebieten, die in der Nähe industrieller Quellen liegen. Die dort gemessenen Schadstoffkonzentrationen müssen mindestens für eine Fläche von 250 x 250 m repräsentativ sein. Zur Beurteilung des Einflusses industrieller Quellen ist die Messstation im Lee der Hauptwindrichtung von der Quelle im nächstgelegenen Wohngebiet aufzustellen.

https://www.umweltbundesamt.de/themen/luftmessnetz-wo-wie-wird-gemessen

2 Rechtlicher Hintergrund

2.1 Luftqualitätsstandards

»Grenzwert« ist ein Wert, der aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse festgelegt wird, um schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern und der nicht überschritten werden darf. Im Falle von Überschreitungen der Luftqualitätsgrenzwerte sind Luftreinhalte- und Aktionspläne aufzustellen (s.u.), um die Dauer der Überschreitung so kurz wie möglich zu halten.

»Zielwert« ist ein Wert, der mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern, und der soweit wie möglich in einem bestimmten Zeitraum eingehalten werden muss.

»Alarmschwelle« ist ein Wert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die Gesundheit der Bevölkerung insgesamt besteht und bei dem die Mitgliedstaaten unverzüglich Maßnahmen ergreifen müssen.

»Informationsschwelle« ist ein Wert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die menschliche Gesundheit für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen besteht und unverzüglich geeignete Informationen erforderlich sind.

Bei Überschreitung der Informations- oder Alarmschwellen müssen alle erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, um die Öffentlichkeit über Rundfunk, Fernsehen, Zeitungen oder das Internet zu informieren.

Die in europäischen Richtlinien zur Luftqualität festgelegten Grenz- und Zielwerte orientieren sich an den »Richtwerten« der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Es wird davon ausgegangen, dass unterhalb dieser Konzentration keine oder nur minimale gesundheitsschädliche Wirkungen auftreten. Richtwerte sind nicht rechtsverbindlich.

2.2 Luftreinhalte- und Aktionspläne

Alle EU-Mitgliedstaaten sind dazu verpflichtet, im Falle von Überschreitungen der Luftqualitätsgrenzwerte Luftreinhalte- und Aktionspläne aufzustellen. In Luftreinhalteplänen werden Maßnahmen benannt, die zu einer dauerhaften Minderung der Schadstoff-konzentrationen führen können. Aktionspläne enthalten kurzfristige Maßnahmen, um die Dauer der Überschreitungen zu minimieren.

http://gis.uba.de/website/umweltzonen/index.php

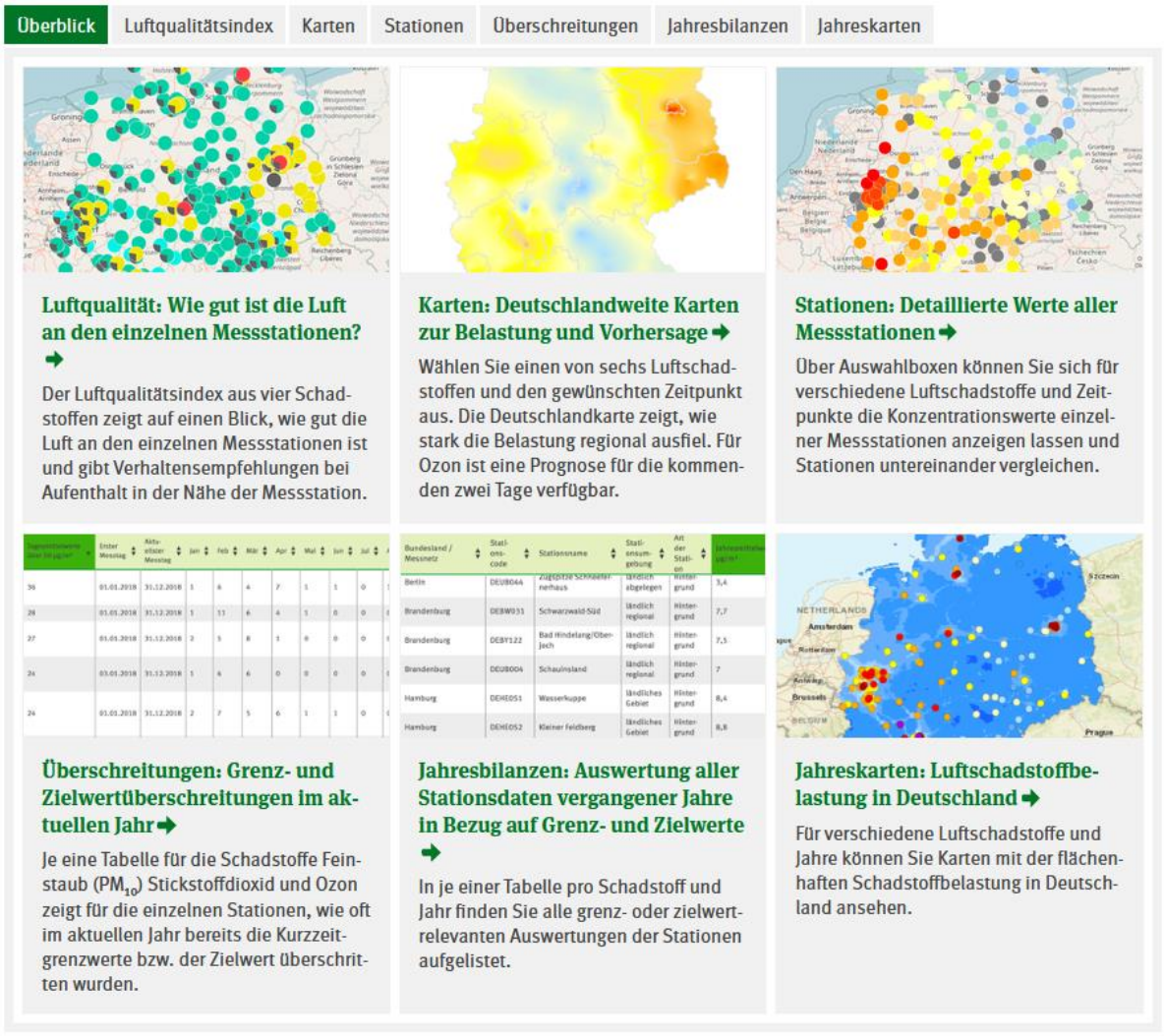
2.3 Berichterstattung und Information der Bevölkerung

2.3.1 Vorläufige Daten

Die EU-Richtlinie schreibt vor, die Bevölkerung zeitnah über die aktuelle Qualität der Luft zu informieren. Das Umweltbundesamt führt die von den 16 Landesmessnetzen und dem UBA-Messnetz erhobenen Daten stündlich zusammen und veröffentlicht sie anhand von Karten, Verlaufskurven und Vorhersagen für jede Station im Internet (siehe Abbildung 2) bzw. mit Hilfe der App „Luftqualität“. Außerdem werden sie kontinuierlich an die Europäische Umweltagentur (EEA) übertragen.

Abbildung 2:

Luftportal des Umweltbundesamtes



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

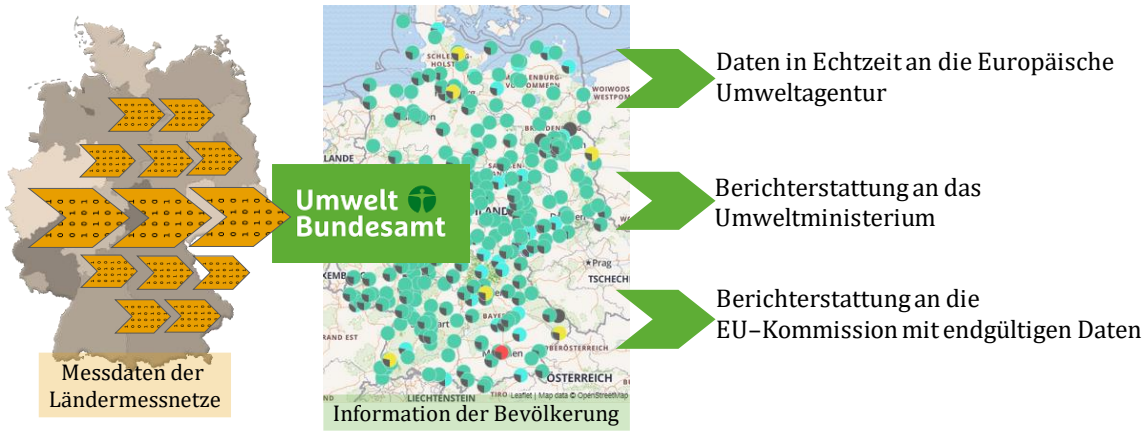
https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftqualitaet/app-luftqualitaet

2.3.2 Endgültige Daten

Im Laufe des aktuellen und des folgenden Jahres werden die vorläufigen Daten von den Messnetzen der Länder qualitätsgeprüft, validiert und durch Messungen mit nichtautomatischen Messverfahren ergänzt. Diese finalen Daten werden dann vom UBA im Rahmen der offiziellen Berichterstattung an die Europäische Kommission weitergeleitet und für die Beurteilung der Luftqualität in Deutschland genutzt.

Abbildung 3:

Zusammenführen der Daten aller Messnetze und Übermittlung an übergeordnete Behörden



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/daten-karten/beurteilung-der-luftqualitaet

3 Luftqualitätsstandards der EU und der WHO

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die nach EU-Richtlinien und dementsprechend nach deutschem Recht geregelten Luftschadstoffe und deren Standards. Ergänzt wurden die meist strengeren, aber nicht bindenden Richtwerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO):

Tabelle 1:

Luftqualitätsstandards zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Luftschadstoff	Mittelungszeitraum	EU	WHO
		Grenzwert	***Richtwert***
Feinstaub – PM_{10}	Jahresmittelwert	40 µg/m³	15 µg/m³
	Tagesmittelwert	50 µg/m³, 35-mal	45 µg/m³, 99. Perzentil
Feinstaub – $PM_{2,5}$	Jahresmittelwert	25 µg/m³	5 µg/m³
	Tagesmittelwert	-	15 µg/m³, 99. Perzentil
Stickstoffdioxid – NO_2	Jahresmittelwert	40 µg/m³	10 µg/m³
	Tagesmittelwert	-	25 µg/m³, 99. Perzentil
	Stundenmittelwert	200 µg/m³, 18-mal	-
Schwefeldioxid – SO_2	Tagesmittelwert	125 µg/m³, 3-mal	40 µg/m³, 99. Perzentil
	Stundenmittelwert	350 µg/m³, 24-mal	-
Kohlenmonoxid – CO	Stundenmittelwert	-	35 mg/m³
	tgl. max. 8-Stundenmittelwert	10 mg/m³	10 mg/m³
	Tagesmittelwert	-	4 mg/m³, 99. Perzentil
Benzol – C_6H_6	Jahresmittelwert	5 µg/m³	1,7 µg/m³
Blei – Pb im PM_{10}	Jahresmittelwert	0,5 µg/m³	0,5 µg/m³
		Zielwert	*Richtwert*
Ozon – O_3	tgl. max. 8-Stundenmittelwert	120 µg/m³, 25 Tage, gemittelt über 3 Jahre	
	tgl. max. 8-Stundenmittelwert	120 µg/m³	100 µg/m³, 99. Perzentil
	Peak Season[1]	-	60 µg/m³

[1] Mittelwert der tgl. max. 8-Stundenmittelwerte von Ozon innerhalb der sechs aufeinanderfolgenden Monate mit der höchsten Ozonkonzentration

Luftschadstoff	Mittelungszeitraum	EU	WHO
Cadmium – Cd im PM_{10}	Jahresmittelwert	5 ng/m³	5 ng/m³
Arsen – As im PM_{10}	Jahresmittelwert	6 ng/m³	6,6 ng/m³
Nickel – Ni im PM_{10}	Jahresmittelwert	20 ng/m³	25 ng/m³
Benzo(a)pyren – B(a)P im PM_{10}	Jahresmittelwert	1 ng/m³	0,12 ng/m³

Grundlage der aktuell geltenden Luftqualitätsstandards sind folgende EU- bzw. WHO-Richtlinien:

EU-Richtlinien

für Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$), Ozon, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Benzol, Blei im PM_{10}

- RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050

für Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo(a)pyren im PM_{10}

- RICHTLINIE 2004/107/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:32004L0107

WHO-Richtlinien

für Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$), Ozon, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid, Blei im PM_{10}

- WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2,5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, 2021 https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329

für Benzol, Arsen, Nickel, Cadmium und B(a)P

- Air Quality Guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, Second Edition, 2000. Konzentrationswerte für zusätzliches Lebenszeitrisiko von 1:100 000 an Krebs zu erkranken, d.h. ein zusätzlicher Krebsfall bezogen auf 100 000 exponierte Einwohner https://apps.who.int/iris/handle/10665/107335

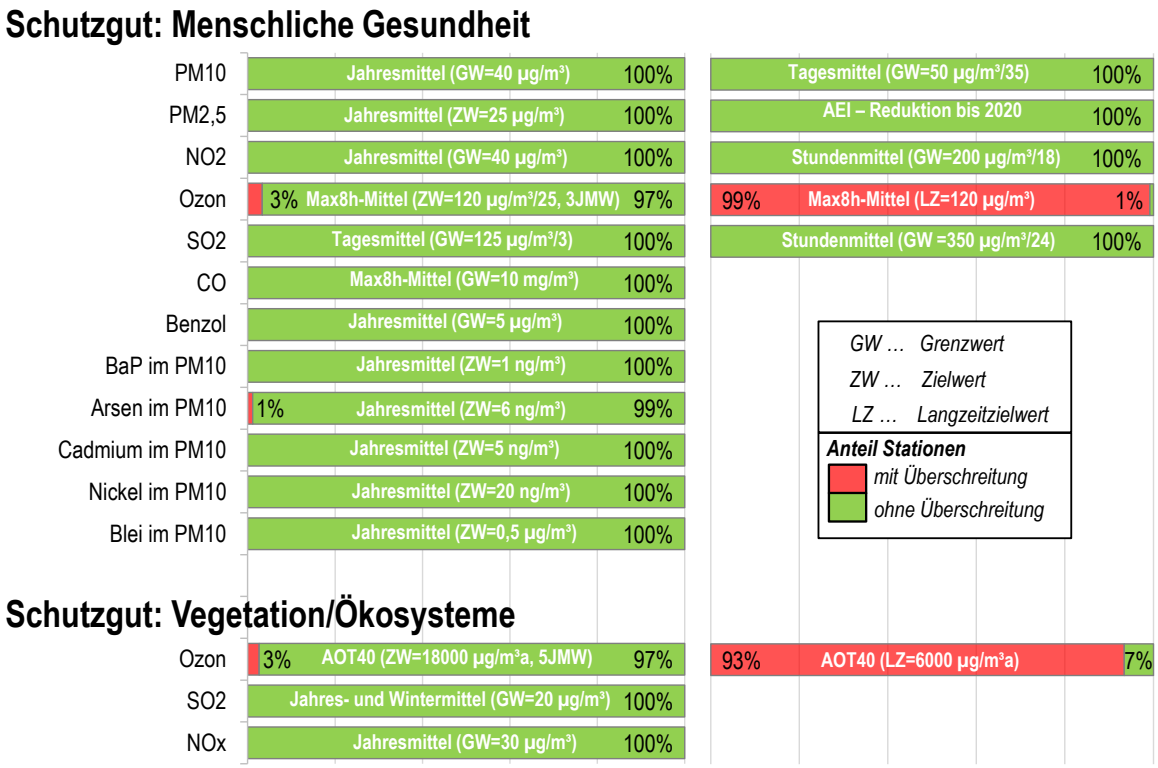
4 Überblick Überschreitungen 2025

4.1 Überschreitungen auf Basis von EU-Grenz-/Zielwerten

Abbildung 4 zeigt den Anteil aller deutschen Messstationen auf, der von Überschreitungen der Grenz- bzw. Zielwerte im Jahr 2025 betroffen war (rot). Demnach kam es lediglich zu Überschreitungen für den Schadstoff Ozon und Arsen im PM_{10}.

Abbildung 4:

Anteil aller Messstationen mit Überschreitung (rot) bzw. Einhaltung (grün) im Jahr 2025 nach geltenden Richtlinien, GW=Grenzwert, ZW=Zielwert, LZ=Langfristziel

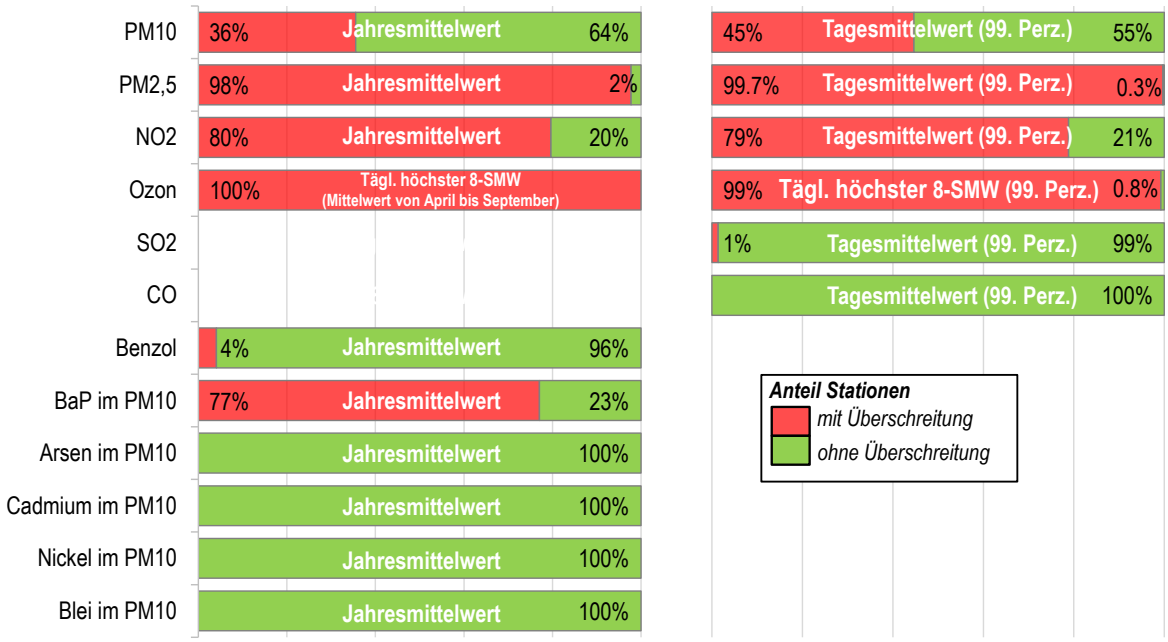


4.2 Überschreitungen auf Basis von WHO-Richtwerten

Die WHO beurteilt die Qualität der Außenluft auf Grundlage meist strengerer Standards (siehe Tabelle 1). Dementsprechend sind die Anteile der Messstationen mit Überschreitungen dieser Konzentrationen deutlich höher als bezüglich geltender EU-Grenz-/Zielwerte.

Abbildung 5:

Anteil aller Messstationen mit Überschreitung (rot) bzw. Einhaltung (grün) im Jahr 2025 nach WHO 2021



4.3 Wetter in Deutschland 2025

Der Deutsche Wetterdienst charakterisiert das Jahr 2025 als sehr warm, sonnenreich und niederschlagsarm, mit einer historischen Frühjahrstrockenheit im Osten. Die Trockenheit im Frühjahr führte zu zwei Episoden deutlich erhöhter Feinstaubwerte (PM_{10} und $PM_{2,5}$) im Februar und März (8. bis 13. Februar und 8. bis 11. März). Grund für die erhöhten Partikelkonzentrationen waren sowohl im Februar als auch im März ausgeprägte Hochdruckwetterlagen: Die Emissionen, die z. B. aus den Heizungen und Fahrzeugen stammen, können dann aufgrund der sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten und Mischungsschichthöhe nicht ausreichend verteilt und damit verdünnt werden. Außerdem fehlte der Niederschlag, der bei nennenswerten Mengen als Regen oder Schnee für die Auswaschung der Schadstoffe aus der Atmosphäre. Der Sommer 2025 war von zwei markanten Hitzewellen Anfang Juli und Mitte August geprägt, die durch eine wechselhafte, teils relativ kühle und ausgesprochen nasse Juli-Phase unterbrochen wurden.

Quellen:

- Deutschlandwetter im Jahr 2025, Pressemitteilung des DWD https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2025/20251230_pm_jahr-2025.html?nn=821150
- Deutschlandwetter im März 2025, Pressemitteilung des DWD

  https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2025/20250331_pm_maerz.html?nn=821150

- Deutschlandwetter im Sommer 2025, Pressemitteilung des DWD

  https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2025/20250829_pm_sommer.html?nn=821150

5 Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol

Das Konzentrationsniveau der Schadstoffe Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO) und Benzol ist sehr gering. Liegen Schadstoffkonzentrationen in einem definiert niedrigen Bereich, muss die Luftqualität nicht mehr mit hohen zeitlich und räumlich aufgelösten Messungen überwacht werden. In diesem Fall kommen zunehmend andere Beurteilungsverfahren wie Ausbreitungsrechnungen, Techniken der objektiven Schätzung und stichprobenartige Messungen zur Anwendung.

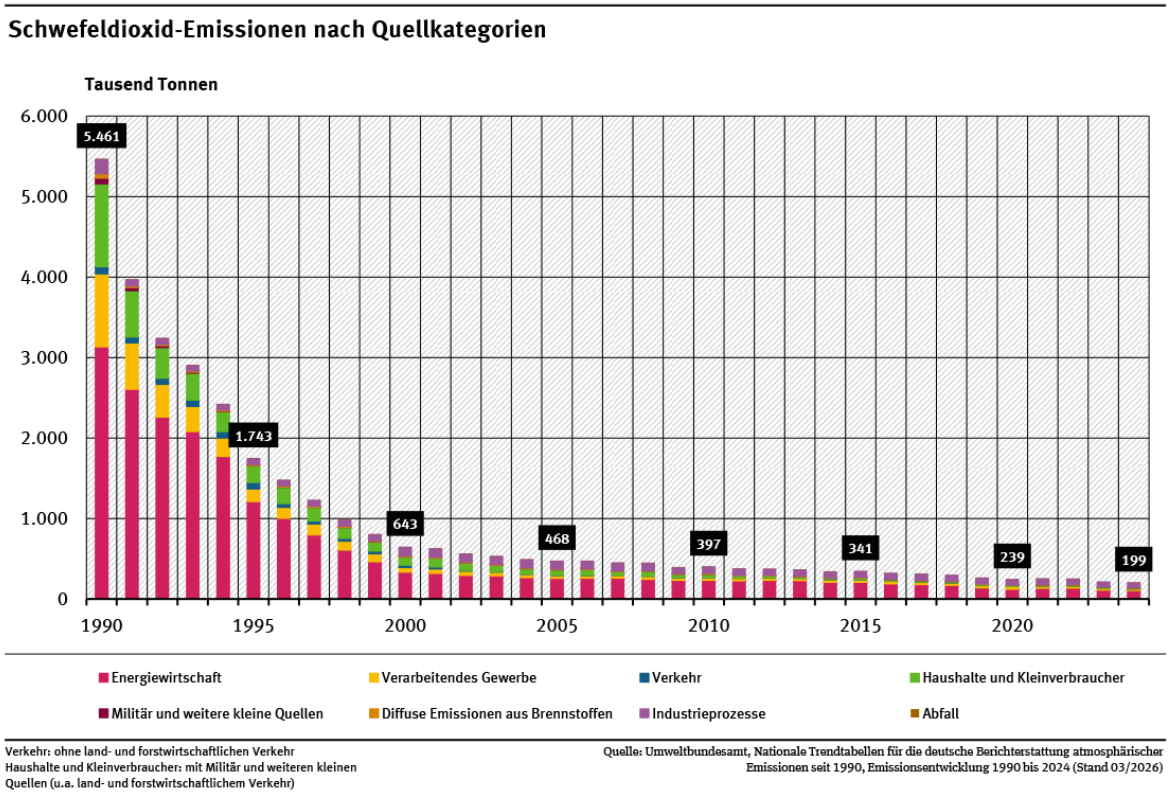
5.1 Schwefeldioxid (SO_2)

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes, wasserlösliches Gas, das Mensch und Umwelt beeinträchtigt. Schwefeldioxid reizt die Schleimhäute und kann zu Augenreizungen und Atemwegsproblemen führen. Außerdem kann es Pflanzen schädigen und nach Ablagerung in Ökosysteme Versauerung von Böden und Gewässern bewirken. Durch den starken Rückgang der Schwefelemissionen seit Beginn der 90er Jahre wird die Versauerung heute hauptsächlich von Stickstoffeinträgen verursacht. Neben den direkten Wirkungen, die SO_2 auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme hat, gilt es neben Ammoniak, Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen als Vorläuferstoff für die Bildung von sekundärem Feinstaub in der Atmosphäre.

5.1.1 Freisetzung

Schwefeldioxid entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe. Von 1990 bis 2024 ist ein Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen von 5,5 auf nur 0,2 Mio. t zu verzeichnen, das entspricht einem Rückgang von ca. 96 % (siehe Abbildung 6). Die Gründe hierfür liegen vor allem in der Stilllegung bzw. technischen Nachrüstung von Betrieben in den neuen Bundesländern sowie der Einsatz von Brennstoffen mit geringerem Schwefelgehalt.

Abbildung 6:



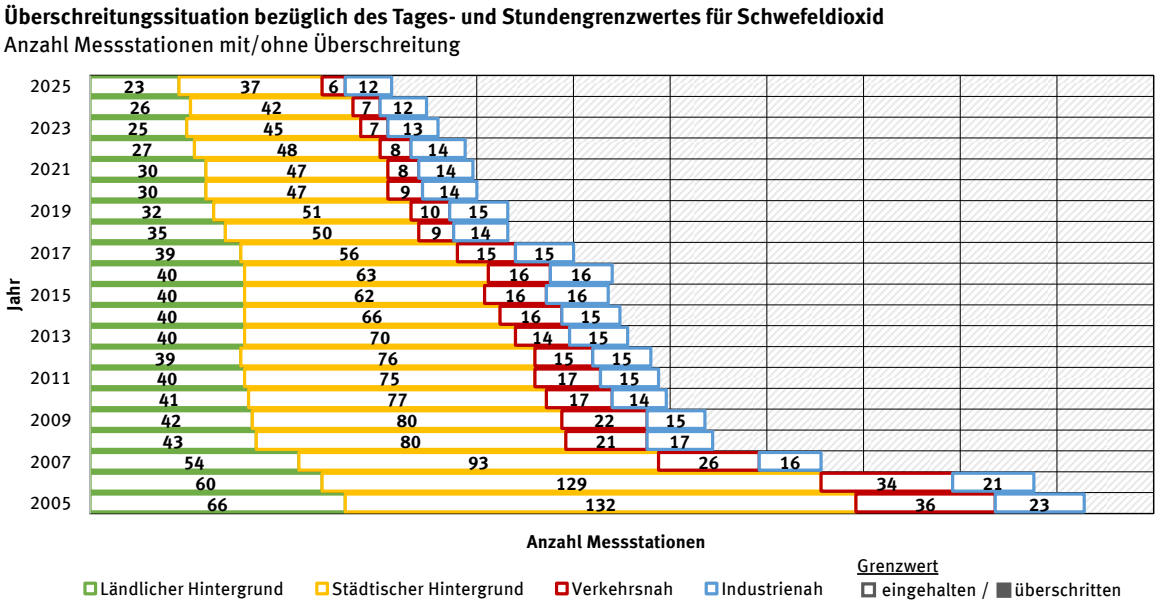
https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/schwefeldioxid-emissionen#entwicklung-seit-1990

5.1.2 Belastung

Für Schwefeldioxid gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt 350 µg/m³ und darf höchstens 24-mal im Jahr überschritten werden. Der Tagesgrenzwert von 125 µg/m³ darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden. Zum Schutz der Vegetation beträgt der kritische Wert als Jahres- und als Wintermittelwert (Oktober bis März) 20 µg/m³.

Da die SO_2-Konzentrationen bundesweit sehr deutlich unter den geltenden Grenzwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit liegen, sind heute durch SO_2 verursachte Gesundheitsprobleme in Deutschland nicht mehr zu befürchten. Beide Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden in Deutschland seit Inkrafttreten im Jahr 2005 an keiner Station überschritten (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7:



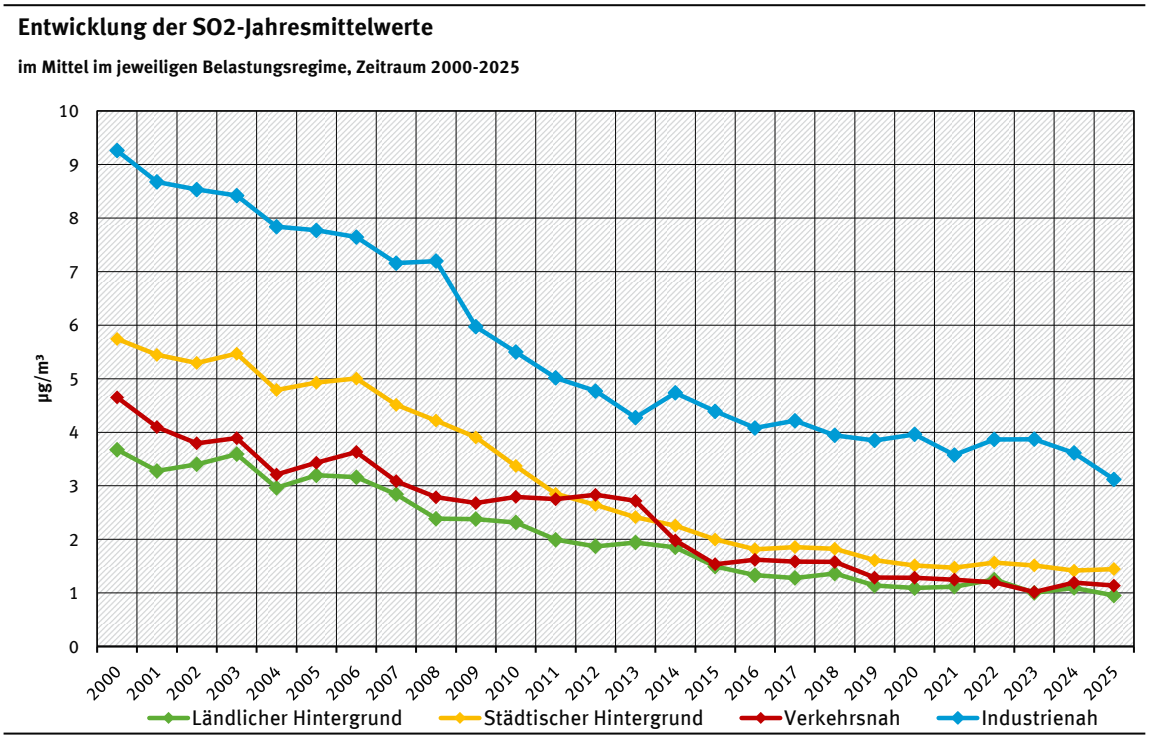
https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

Die Werte zum Schutz der Vegetation wurden in der Vergangenheit sowie im Jahr 2025 sicher eingehalten.

5.1.3 Entwicklung

Die Trendkurven mittlerer SO_2-Konzentrationen in den unterschiedlichen Belastungsregimes spiegeln eindrücklich den Rückgang der SO_2-Emissionen (siehe Abbildung 8) wider. Die höchsten Belastungen wurden und werden meist in der Nähe von Industriestandorten gemessen, gefolgt von Stationen im städtischen Hintergrund. Im ländlichen Hintergrund können auch höhergelegene Stationen im Erzgebirge von erhöhten Konzentrationen betroffen sein.

Abbildung 8:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/schwefeldioxid

5.2 Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das bei der unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen entsteht. Es bildet sich, wenn bei Verbrennungsprozessen zu wenig Sauerstoff zur Verfügung steht. Kohlenmonoxid beeinträchtigt als Luftschadstoff die Sauerstoffaufnahme von Menschen und Tieren. CO wirkt in höheren Konzentrationen als starkes Atemgift und kann Auswirkungen auf das Zentralnervensystem haben. CO ist zudem an der photochemischen Bildung bodennahen Ozons beteiligt.

5.2.1 Freisetzung

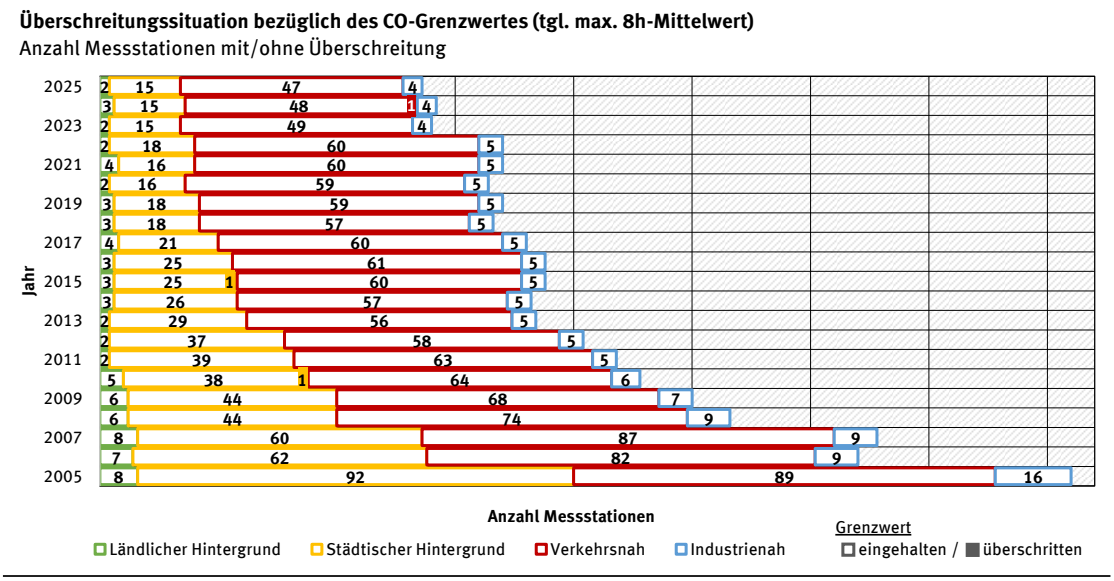
Die Kohlenmonoxid-Emissionen sind zwischen 1990 und 2024 um ca. 83 Prozent gesunken. Nachdem der Straßenverkehr als Quelle lange Zeit die CO-Emissionen dominierte, hat seine Bedeutung im Laufe der Jahre stetig abgenommen. Aktuell gehört er zusammen mit Industrieprozessen und Haushalten zu den größten Verursachergruppen.

https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland#ermittlung-der-emissionsmengen

5.2.2 Belastung

Am 1. Januar 2005 ist der Grenzwert in Kraft getreten. Seitdem darf der höchste 8-Stunden-Mittelwert eines Tages 10 mg/m³ nicht überschreiten. Die Belastung durch Kohlenmonoxid ist in Deutschland sehr gering. Seit Inkrafttreten des Grenzwertes kam es lediglich an einer verkehrsnahen und zwei Messstationen im städtischen Hintergrund zu einer Überschreitung (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9:

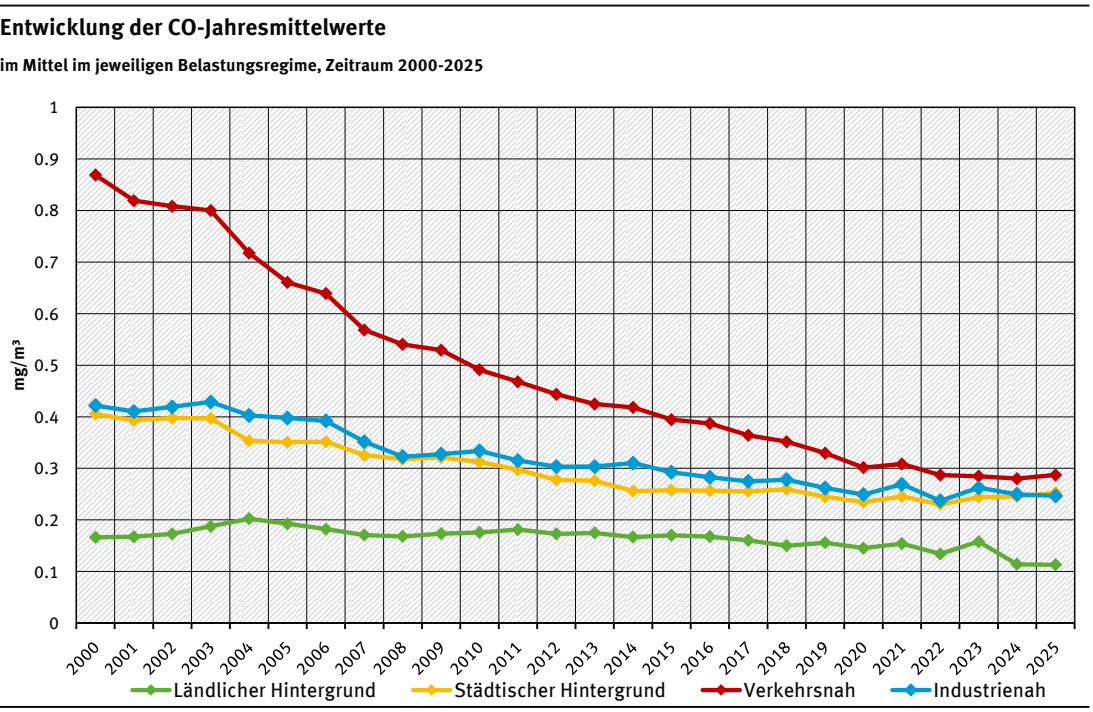


https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

5.2.3 Entwicklung

Einhergehend mit den rückläufigen CO-Emissionen gehen auch die Konzentrationen in allen Belastungsregimes zurück (siehe Abbildung 10). Gemessen wird CO vorwiegend in städtischer Umgebung (verkehrsnah und im Hintergrund). Aufgrund der deutschlandweit sehr niedrigen CO-Konzentrationen finden im ländlichen Hintergrund kaum mehr Messungen statt. Zur offiziellen Beurteilung der Luftqualität in Bezug auf Grenzwertüberschreitungen kommen daher seit Jahren zunehmend Modellergebnisse anstatt Messungen zum Einsatz.

Abbildung 10:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/kohlenmonoxid

5.3 Benzol

Benzol ist eine flüchtige, organische Verbindung mit einem aromatischen Geruch. Benzol ist krebserregend. Bei langfristiger Aufnahme führt Benzol zu Schädigungen der inneren Organe und des Knochenmarkes. Aber auch geringe Konzentrationen sind nicht unbedenklich, da dieser Stoff, bzw. dessen Abbauprodukt, im menschlichen Körper Krebs erzeugen kann.

5.3.1 Freisetzung

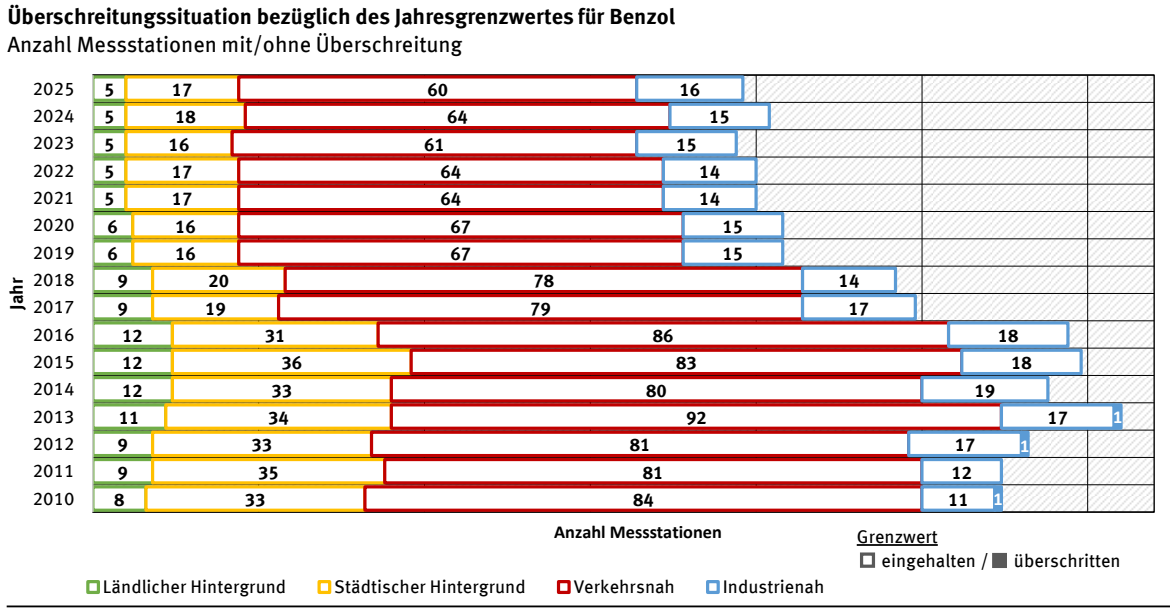
Das Entweichen von Benzol beim Tanken wurde durch die "Gaspendelung" gelöst. Ein Großteil des freigesetzten Benzols geht auf den Straßenverkehr zurück. Benzol ist Bestandteil der entweichenden Abgase aus dem Auspuff.

5.3.2 Belastung

Für Benzol gilt seit dem 1. Januar 2010 europaweit ein Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit. 5 µg/m³ dürfen im Jahresmittel nicht überschritten werden.

Die Belastung mit Benzol ist sehr gering. Seit Inkrafttreten des Grenzwertes kam es lediglich an 3 industrienahen Stationen zu Überschreitungen (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11:

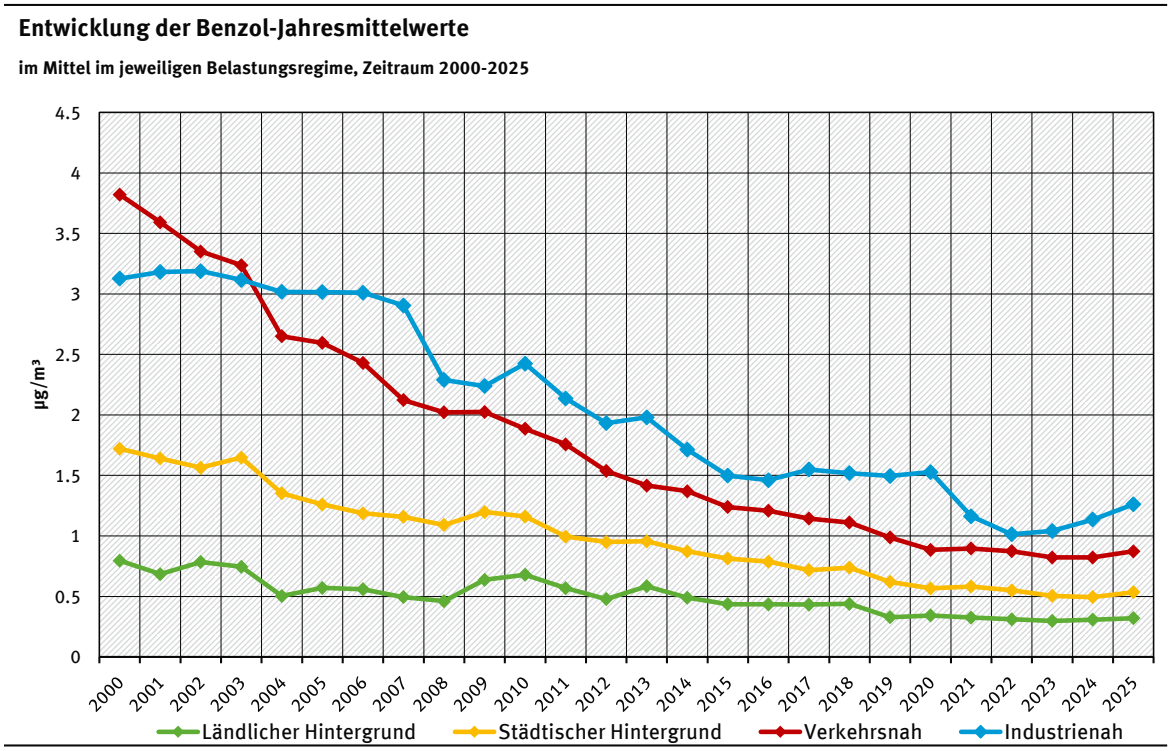


https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

5.3.3 Entwicklung

Die Benzol-Konzentrationen gehen in allen Belastungsregimes seit Jahren kontinuierlich zurück (siehe Abbildung 12). Industrienah und verkehrsnah ist die Belastung im Mittel am höchsten, aber auch dort aktuell weit unter dem geltenden Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit.

Abbildung 12:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/benzol

6 Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon

6.1 Stickstoffdioxid (NO_2)

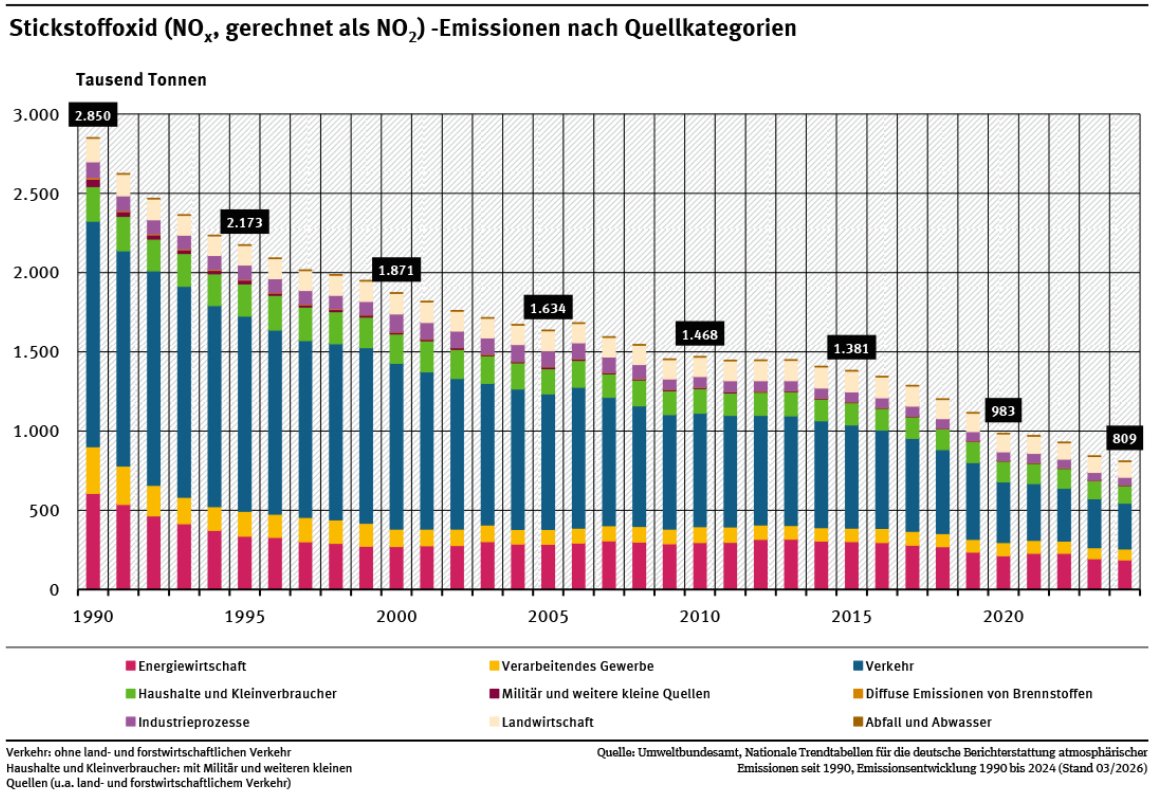
Stickstoffoxide gehören zu den so genannten reaktiven Stickstoffverbindungen, die zu einer Vielzahl von negativen Umweltwirkungen führen können. Zusammen mit flüchtigen Kohlenwasserstoffen sind Stickstoffoxide für die sommerliche Ozonbildung verantwortlich. Stickstoffoxide tragen zudem zur Feinstaubbelastung bei. Zu den Stickstoffoxiden gehören verschiedene gasförmige Verbindungen, die aus den Atomen Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) aufgebaut sind. Vereinfacht werden nur die beiden wichtigsten Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) dazu gezählt.

In der Umwelt vorkommende Stickstoffdioxid-Konzentrationen sind vor allem für Asthmatiker ein Problem, da sich eine Bronchialkonstriktion (Bronchienverengung) einstellen kann, die zum Beispiel durch die Wirkungen von Allergenen verstärkt werden kann. Zudem kann eine jahrzehntelange Belastung durch NO_2 das Risiko an Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu versterben erhöhen. Stickstoffdioxid kann Pflanzen schädigen und unter anderem ein Gelbwerden der Blätter (sog. Nekrosen), vorzeitiges Altern und Kümmerwuchs bewirken. Zudem trägt es zur Überdüngung und Versauerung von Böden und in geringem Maße auch von Gewässern bei.
Die mittelbare Wirkung des NO_2 auf die menschliche Gesundheit besteht in seiner Eigenschaft als Vorläufersubstanz für Feinstaub.

6.1.1 Freisetzung

Stickstoffoxide entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen in Anlagen und Motoren. Geringe Emissionen entstehen auch in bestimmten Industrieprozessen und in der Landwirtschaft. 1990 bis 2024 ist ein Rückgang der NO_x-Emissionen um knapp 2 Mio. t oder 72 % zu verzeichnen (siehe Abbildung 13). Dieser Rückgang erfolgte in allen Quellkategorien – mit einem Minus von über 1,1 Mio. t am deutlichsten im Verkehr. Trotz dieser Minderung ist der Verkehrsbereich mit einem Emissionsanteil von 36 % weiterhin mit Abstand der größte Verursacher von NO_x-Emissionen.

Abbildung 13:



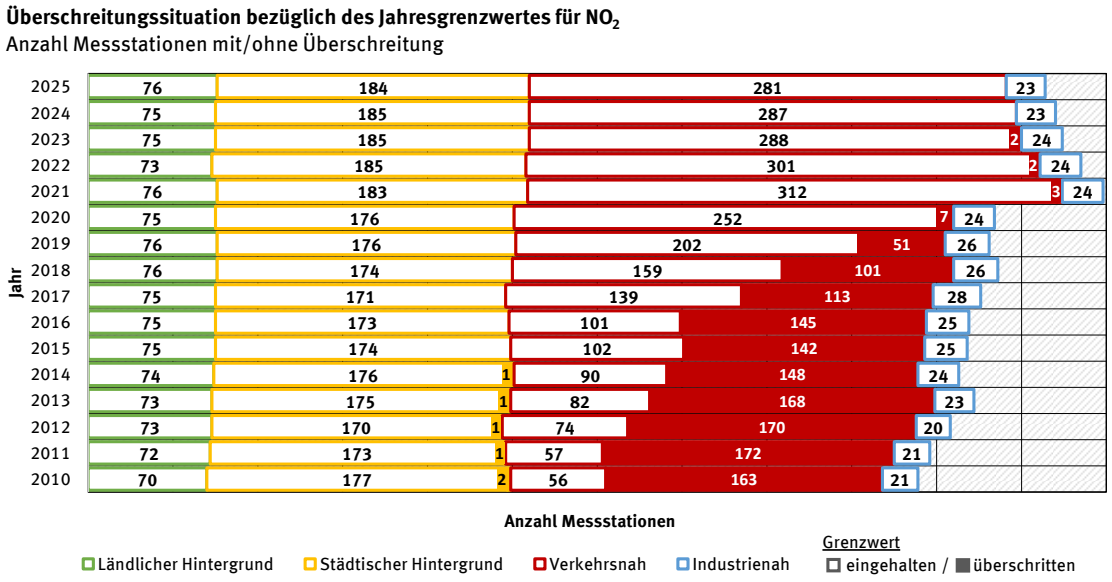
https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990

6.1.2 Belastung

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurde europaweit für Stickstoffdioxid der 1-Stunden-Grenzwert von 200 µg/m³ festgelegt, der nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr überschritten werden darf. Der Jahresgrenzwert beträgt 40 µg/m³. Beide Grenzwerte gelten seit dem 1. Januar 2010. Zum Schutz der Vegetation wird ein kritischer Wert von 30 µg/m³ als Jahresmittelwert von NO_x verwendet.

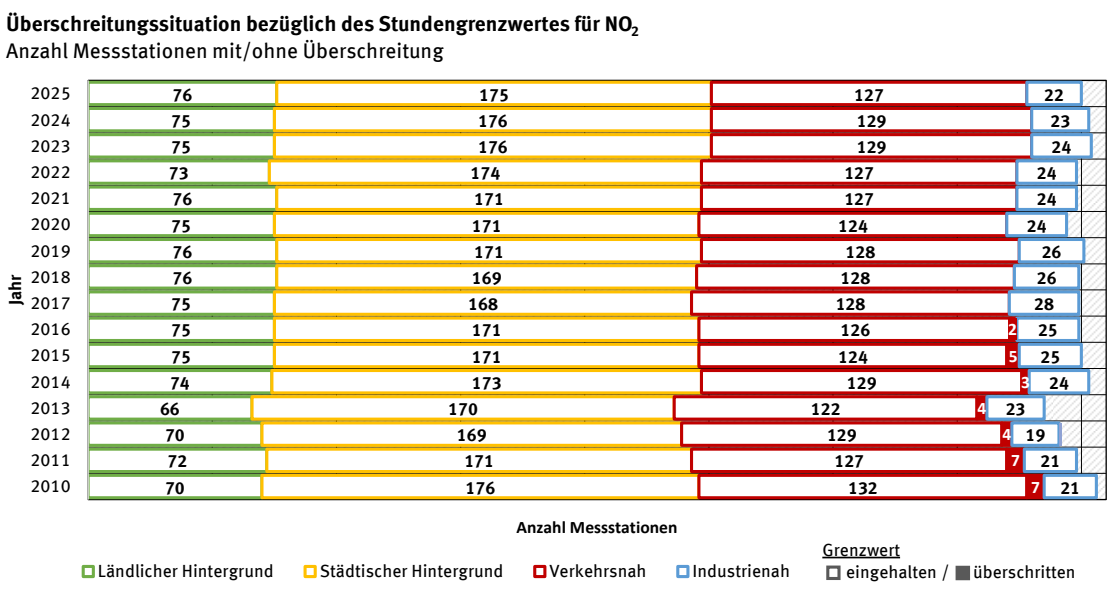
Problematisch waren nach Inkrafttreten der Grenzwerte im Jahr 2010 die zahlreichen Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes (siehe Abbildung 14). Diese traten fast ausschließlich verkehrsnah auf. Bis einschließlich 2016 waren mehr als die Hälfte der verkehrsnahen Stationen von Überschreitungen betroffen, danach stellte sich ein deutlicher Rückgang der verkehrsnahen Belastung ein. Wie auch schon in den Vorjahren gab es 2025 keine Überschreitung des Jahresgrenzwertes mehr in ganz Deutschland.

Abbildung 14:



Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes traten in der Vergangenheit nur sehr vereinzelt und ebenfalls verkehrsnah auf, zuletzt im Jahr 2016 (siehe Abbildung 15). Die geringere Anzahl der Messstationen zur Überwachung des Stundengrenzwertes insgesamt liegt am Messverfahren: Hier kommt nur das automatische, stündliche Messverfahren zum Einsatz, während die Einhaltung des Jahresmittelwertes zusätzlich mit sogenannten Passivsammlern überwacht werden kann, die mit ihrer geringeren zeitlichen Auflösung keine Stundenwerte liefern.

Abbildung 15:

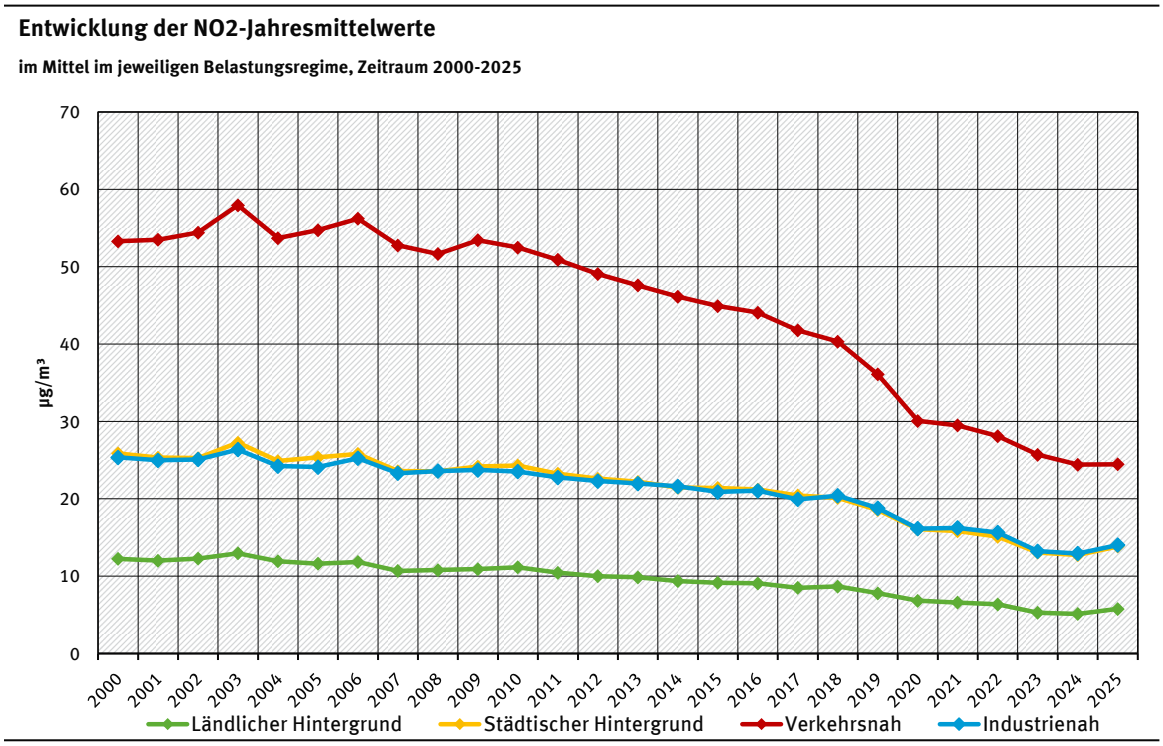


https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

6.1.3 Entwicklung

Die NO_2-Trendkurven zeigen seit Inkrafttreten der Grenzwerte im Jahr 2010 eine deutliche Verbesserung der mittleren Belastung (siehe Abbildung 16). In den letzten 15 Jahren gab es einen starken Rückgang der Konzentrationen in allen Belastungsregimes, am stärksten ausgeprägt an den verkehrsnahen Stationen.

Abbildung 16:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/stickstoffoxide

6.2 Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$)

Als Feinstaub, Schwebstaub oder englisch "Particulate Matter" (PM) bezeichnet man Teilchen in der Luft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Je nach Korngröße der Staubteilchen wird der Feinstaub in Fraktionen unterteilt: Unter PM_{10} versteht man alle Staubteilchen, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Eine Teilmenge der PM_{10}-Fraktion sind die feineren Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als 2,5 µm beträgt.

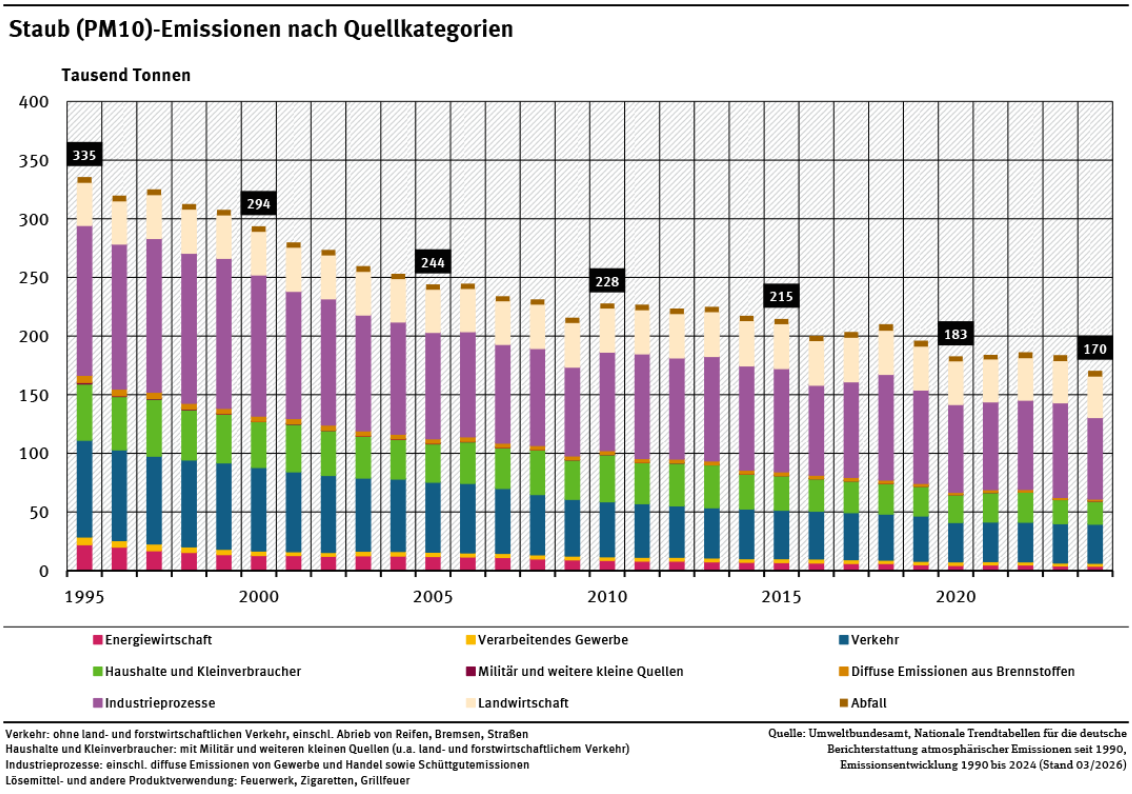
PM_{10} kann beim Menschen in die Nasenhöhle, $PM_{2,5}$ bis in die Bronchien und Lungenbläschen und ultrafeine Partikel bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen. Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden. Sie reichen von Schleimhautreizungen und lokalen Entzündungen in der Luftröhre und den Bronchien oder den Lungenalveolen bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen, einer erhöhten Thromboseneigung oder Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems (Herzfrequenzvariabilität).

6.2.1 Freisetzung

Die PM_{10}-Emissionen sanken von 0,34 Millionen Tonnen (Mio. t) im Jahr 1995 auf 0,17 Mio. t im Jahr 2024 (-49,2 %, siehe Abbildung 17). Dabei stammten 40,8 % der PM_{10}-Emissionen aus Produktionsprozessen (vor allem der Herstellung von Metallen und mineralischer Produkte) und verteilten Emissionen vor allem aus dem Umschlag von Schüttgut. Mit 34,9 % liegt auch die Summe der Emissionen aus stationären wie mobilen Verbrennungsvorgängen, also vor allem Haushalten sowie dem Straßenverkehr (einschließlich der Abriebemissionen) in einer ähnlichen Größenordnung. Die Emissionen der Landwirtschaft sinken erst in den letzten Jahren leicht. Daher und durch die gleichzeitig sinkenden Gesamtemissionen stieg ihr Anteil von 10,8 % im Jahr 1995 auf 20,4 % im Jahr 2024. Von den 34,7 kt PM_{10} aus der Landwirtschaft resultierten dabei etwa 33 % aus der Tierhaltung, v.a. von Rindern/Milchkühen sowie von Geflügel und, zu einem geringen Teil, Schweinen. 67 % der landwirtschaftlichen PM_{10}-Emissionen entstehen dagegen bei der Bearbeitung landwirtschaftlicher Böden.

Dank technischer Abgasreinigung und fortschreitender Elektrifizierung haben im Straßenverkehr nunmehr über 85 % des PM_{10} ihren Ursprung im Abrieb von Reifen, Bremsen und Straßenbelag (1995: knapp 28 %): Entsprechend rücken spätestens mit der anstehenden Euro7-Norm auch Maßnahmen zur Minderung von abrasiven Partikelemissionen in den Fokus.

Abbildung 17:

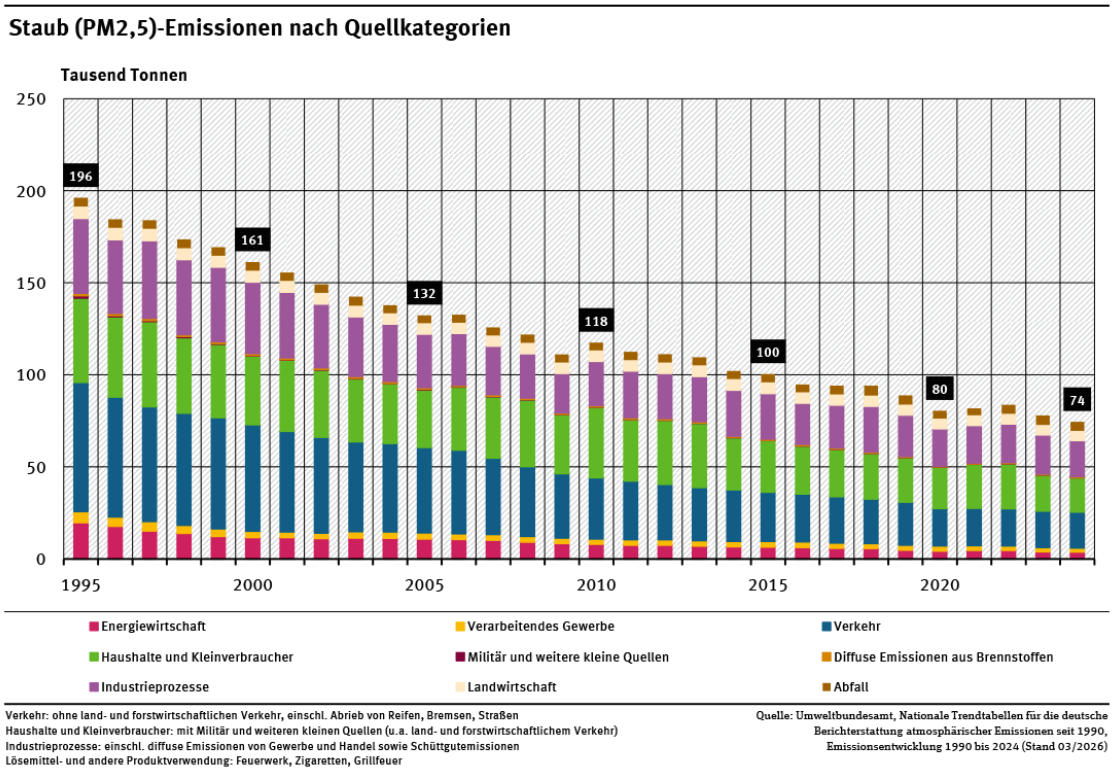


https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm10

Auch die $PM_{2,5}$-Emissionen in Deutschland sind erheblich gesunken. Sie sanken von 0,20 Millionen Tonnen (Mio. t) im Jahr 1995 auf rund 0,07 Mio. t im Jahr 2024 (-62 %, siehe Abbildung 18). Knapp 60 % der Emissionen resultieren dabei aus Verbrennungsprozessen, wobei die größten Anteile auf Haushalte und Kleinverbraucher sowie den Straßenverkehr (einschließlich der Abriebemissionen) entfallen. Weitere relevante Mengen an Feinstaub $PM_{2,5}$ stammen aus Produktionsprozessen (vorwiegend bei der Herstellung von Metallen und

mineralischer Produkte), verteilten Emissionen von Gewerbe und Handel, Schüttgutumschlägen sowie aus der Landwirtschaft. Ein spannender Effekt aus technischer Abgasreinigung und fortschreitender Elektrifizierung ist, dass im Straßenverkehr nunmehr fast 74 % des $PM_{2,5}$ aus Abrieb resultieren (zum Vergleich: 1995 waren es noch nur 17 %): Entsprechend rücken spätestens mit der anstehenden Euro7-Norm auch Maßnahmen zur Minderung von abrasiven Partikelemissionen in den Fokus.

Abbildung 18:



https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm25#emissionsentwicklung

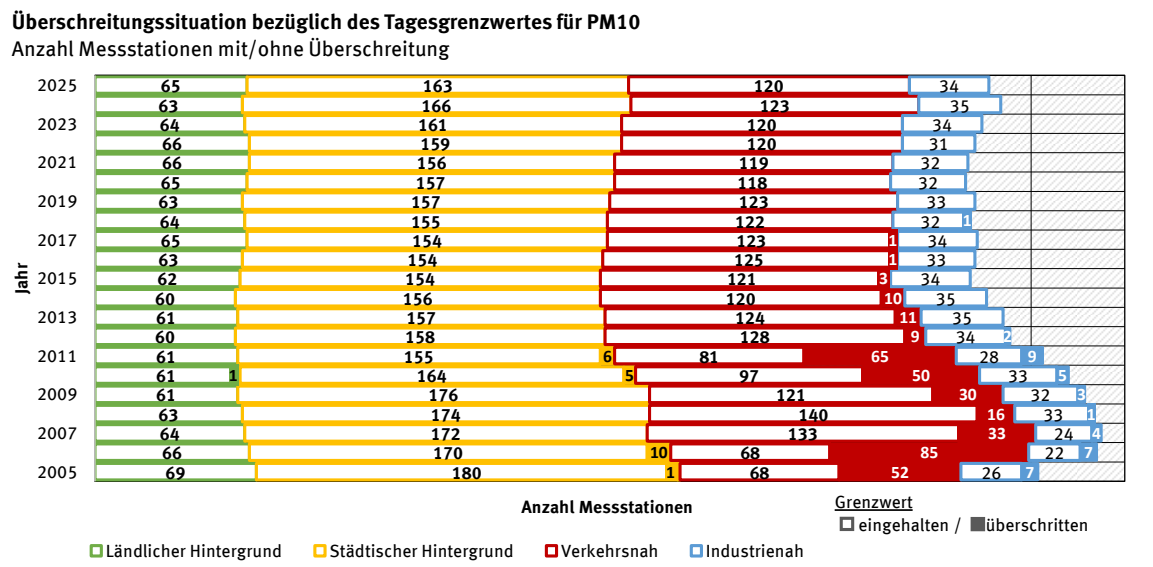
6.2.2 Belastung

6.2.2.1 PM_{10}

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit folgende PM_{10}-Grenzwerte: Der Tagesgrenzwert beträgt 50 µg/m³ und darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt 40 µg/m³.

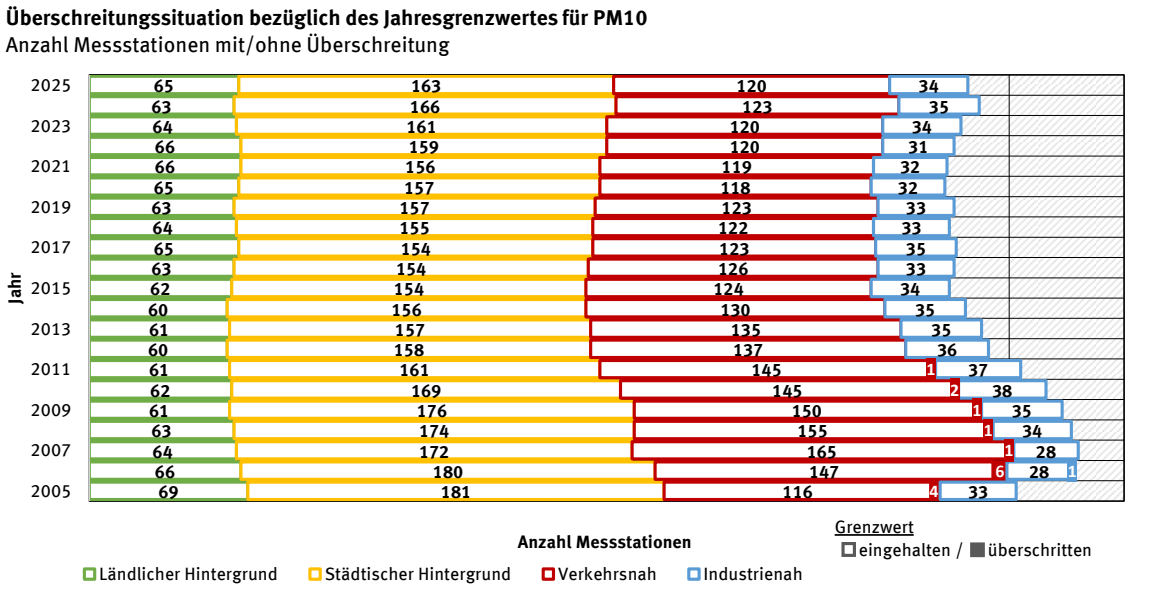
Bei Inkrafttreten der Grenzwerte 2005 kam es noch zu zahlreichen Überschreitungen des Tagesgrenzwertes, hauptsächlich an verkehrsnahen Stationen, aber auch industrienahe Stationen und Stationen im städtischen Hintergrund waren betroffen (siehe Abbildung 19). Einhergehend mit einem signifikanten Rückgang der PM_{10}-Belastung kam es zuletzt im Jahr 2018 zu einer (industrienahen) Überschreitung, seitdem wurde in Deutschland keine Tagesgrenzwertüberschreitung mehr registriert.

Abbildung 19:



Die Einhaltung des Jahresgrenzwertes stellte seit jeher kein Problem dar. Lediglich vereinzelt kam es in der ersten Dekade verkehrs- und industrienah zu Grenzwertüberschreitungen, zuletzt im Jahr 2011 (siehe Abbildung 20).

Abbildung 20:



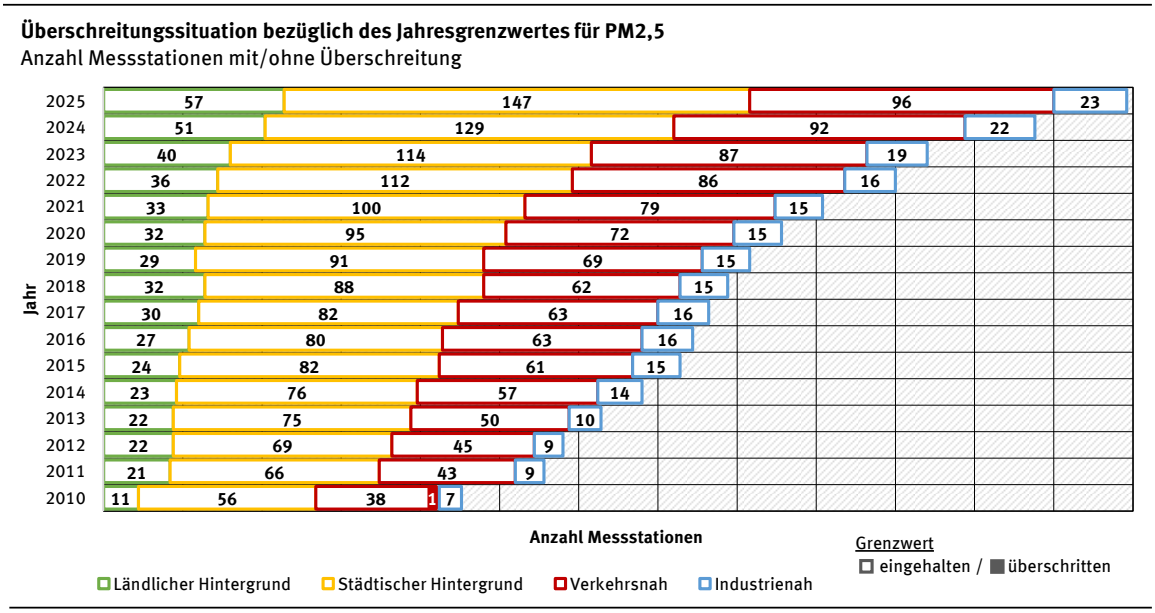
https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

6.2.2.2 $PM_{2,5}$

Für die noch kleineren Partikel $PM_{2,5}$ galt europaweit ein Zielwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel, der seit dem 1. Januar 2010 eingehalten werden sollte. Seit 1. Januar 2015 ist dieser Wert als Grenzwert verbindlich einzuhalten.

Bis auf eine verkehrsnahe Station im Jahr 2010 registrierte keine deutsche Station seither eine $PM_{2,5}$-Überschreitung (siehe Abbildung 21).

Abbildung 21:



Zusätzlich zum $PM_{2,5}$-Grenzwert definiert die EU-Luftqualitätsrichtlinie einen Indikator für die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung gegenüber $PM_{2,5}$, den Average Exposure Indikator (AEI), der auf Basis ausgewählter Messstationen im städtischen Hintergrund berechnet wird.

Als Ausgangswert für das Jahr 2010 wurden 16,4 µg/m³ 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 13,6 µg/m³ nicht überschreiten. Deutschland hatte dieses Ziel für die Jahre 2020 bis 2023 eingehalten. Und auch 2025 lag der AEI (Mittelwert der Jahre 2023, 2024 und 2025) mit 9,0 µg/m³ sicher unterhalb von 13,6 µg/m³. Neben dem nationalen Minderungsziel darf der AEI seit dem 1. Januar 2015 den Wert von 20 µg/m³ nicht überschreiten. Dieser Wert wurde in Deutschland seit Beginn der Messung im Jahr 2008 nicht überschritten.

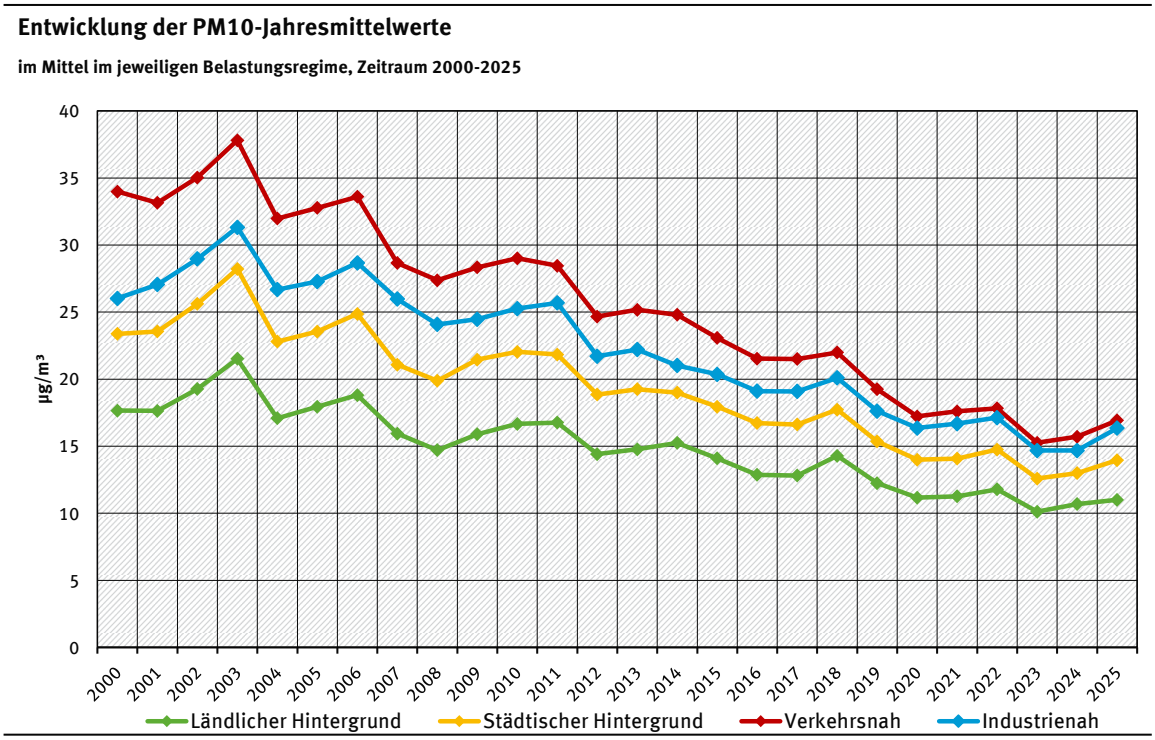
6.2.3 Entwicklung

6.2.3.1 PM_{10}

Einhergehend mit dem Rückgang der freigesetzten PM_{10}-Mengen (siehe Abbildung 17) ging die mittlere PM_{10}-Belastung in allen Belastungsregimes deutlich zurück. Überlagert wird der Rückgang durch vorwiegend witterungsbedingte, zwischenjährliche Schwankungen (siehe Abbildung 22).

Vor allem die ausgeprägten Feinstaubepisoden im Frühjahr (Februar und März) führten zu einer höheren mittleren Feinstaubbelastung 2025 im Vergleich zu den beiden niedrig belasteten Vorjahren.

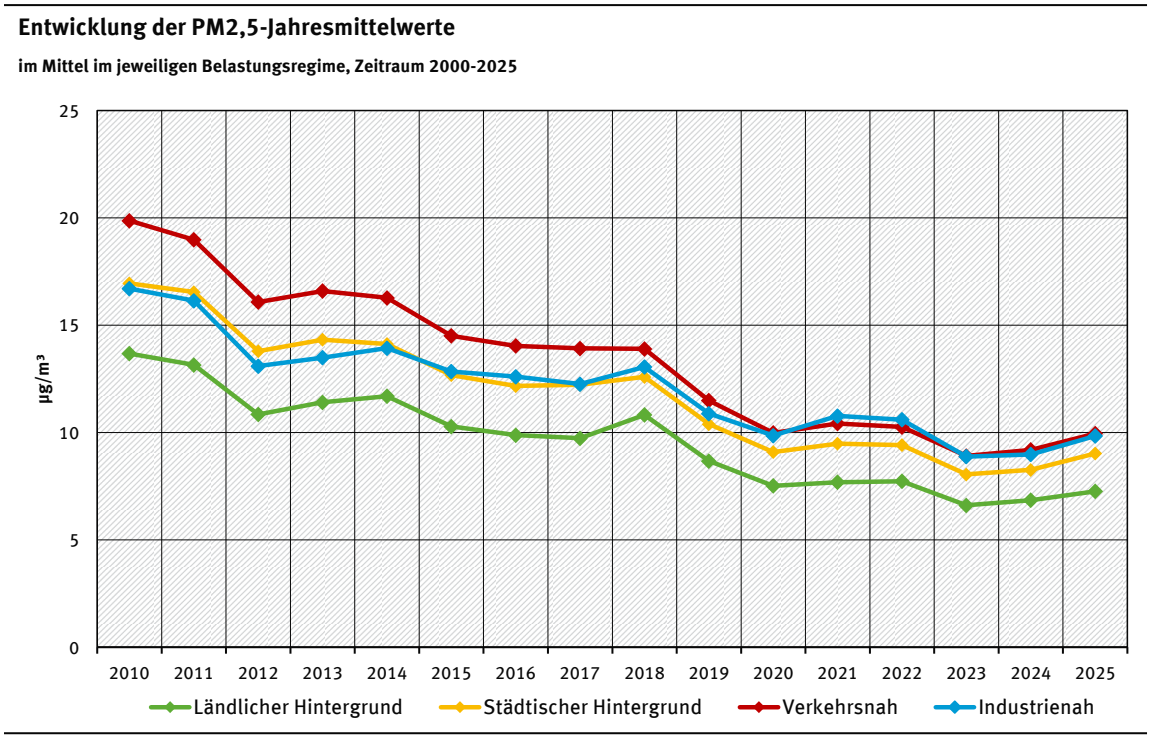
Abbildung 22:



6.2.3.2 $PM_{2,5}$

Analog zum rückläufigen PM_{10}-Trend geht die mittlere $PM_{2,5}$-Belastung in allen Belastungsregimes ebenfalls stetig zurück (siehe Abbildung 23). In den letzten Jahren näherten sich die mittleren verkehrs- und industrienahen Belastungen stark aneinander an, wenige µg/m³ darunter liegt die mittlere Belastung im städtischen Hintergrund. Lediglich die Belastung im ländlichen Hintergrund unterscheidet sich deutlich und ist im Verlauf der Jahre gleichbleibend niedriger als in den anderen Regimen.

Abbildung 23:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub

6.3 Ozon

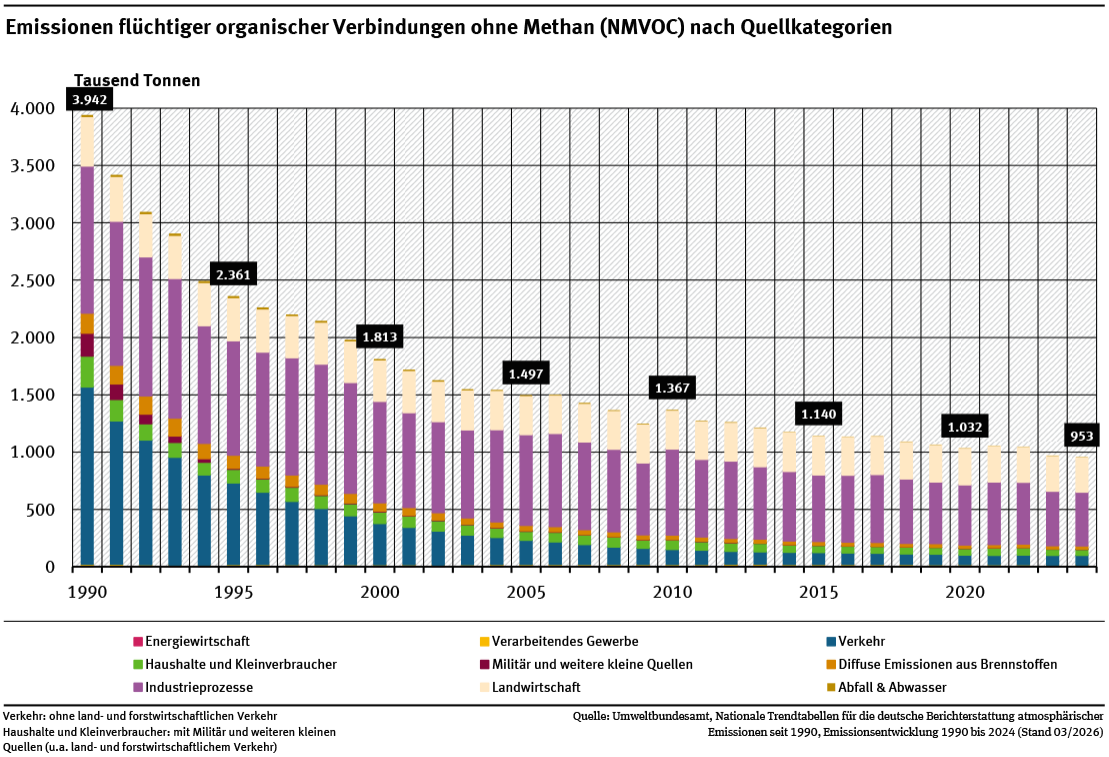
Ozon ist ein farbloses, giftiges und chemisch sehr reaktives Gas. Es greift viele andere Stoffe an und kann deshalb Menschen, Pflanzen und Materialien schädigen. Die gesundheitlichen Wirkungen von Ozon bestehen in einer verminderten Lungenfunktion, entzündlichen Reaktionen in den Atemwegen und Atemwegsbeschwerden. Bei körperlicher Anstrengung, also bei erhöhtem Atemvolumen, können sich diese Auswirkungen verstärken. Empfindliche oder vorgeschädigte Personen, zum Beispiel Asthmatiker, sind besonders anfällig und sollten bei hohen Ozonwerten körperliche Anstrengungen im Freien am Nachmittag vermeiden.

Ozon wird von Pflanzen durch die Spaltöffnungen der Blattorgane aufgenommen. Dadurch können bei Pflanzen Schäden an Blattorganen auftreten. Länger anhaltende Belastungen stellen ein Risiko für das Pflanzenwachstum, Ernteerträge und die Qualität landwirtschaftlicher Produkte dar.

6.3.1 Freisetzung

In Bodennähe auftretendes Ozon wird nicht direkt freigesetzt, sondern bei intensiver Sonneneinstrahlung durch komplexe photochemische Prozesse aus Vorläuferschadstoffen – überwiegend Stickstoffoxiden (siehe Abbildung 13, NO_x-Emissionen) und flüchtigen organischen Verbindungen (ohne Methan, siehe Abbildung 24) – gebildet.

Abbildung 24:



https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-fluechtiger-organischer-verbindungen-ohne

Beide Vorläufersubstanzen verzeichnen deutliche Rückgänge der Emissionen (NO_x: siehe Kapitel 6.1.1.), der Ausstoß flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan konnte zwischen 1990 und 2024 um ca. 76 % gesenkt werden. Der Rückgang lässt sich in erster Linie mit der Entwicklung der Emissionen aus dem Straßenverkehr sowie bei den Lösemittelanwendungen im industriellen und gewerblichen Bereich erklären.

6.3.2 Belastung

Für die Ozonkonzentration gibt es eine Informationsschwelle von 180 µg/m³ und eine Alarmschwelle von 240 µg/m³ (beides als 1-Stunden-Wert). Ab einem Ozonwert von 180 µg/m³ soll die Öffentlichkeit über die Gefahren der Exposition informiert werden, ab 240 µg/m³ sollten gegebenenfalls kurzfristige Maßnahmen zur Senkung der Ozonwerte eingeleitet werden.

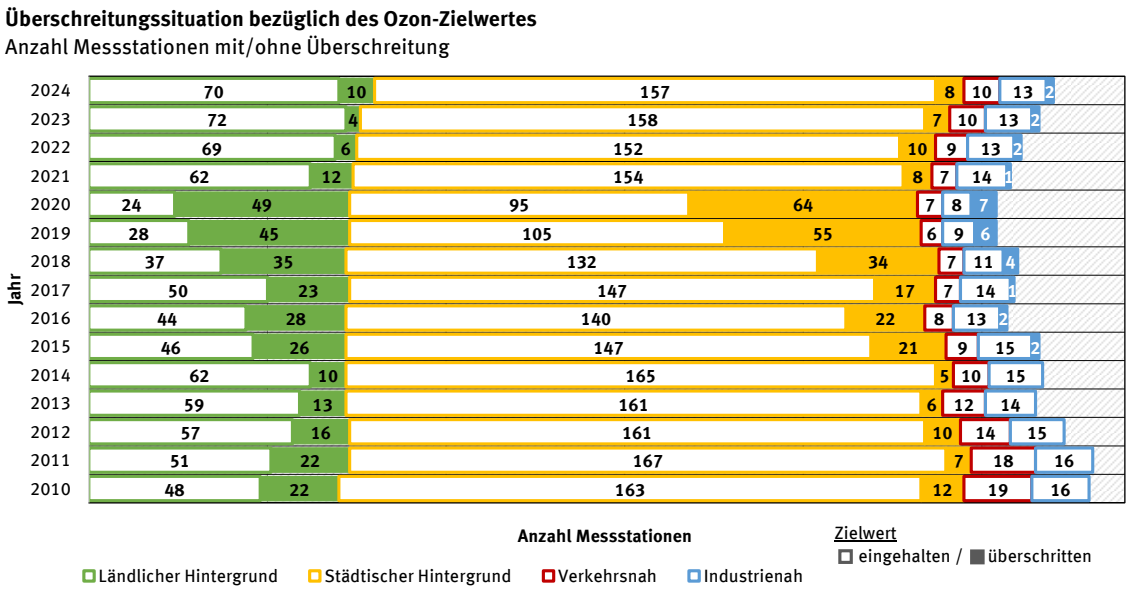
Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist ein Zielwert festgelegt: Der maximale 8-Stunden-Wert eines Tages darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre, den Wert von 120 µg/m³ überschreiten. Langfristig sollen die täglichen maximalen 8-Stundenmittel den Wert von 120 µg/m³ gar nicht mehr überschreiten.

Zum Schutz der Vegetation gilt im 5-Jahresmittel ein Zielwert von 18.000 µg/m³h als Summe der Differenz zwischen 1-Stunden-Werten über 80 µg/m³ und 80 µg/m³ während Tagesstunden (8–20 Uhr) der Hauptvegetationszeit von Mai bis Juli (AOT 40). Zudem gelten 6.000 µg/m³h als Langfristziel.

Überschreitungen der Alarmschwelle sind mittlerweile sehr selten und traten zuletzt vereinzelt im Jahr 2019 auf. 23 % aller Stationen meldeten 2025 Überschreitungen der Informationsschwelle.

Grundsätzlich treten hohe Ozonwerte hauptsächlich an Stationen im ländlichen und städtischen Hintergrund auf. In Quellnähe kommt es durch freigesetztes Stickstoffmonoxid (NO) zum Ozonabbau. Je deutlicher Sonneneinstrahlung und hohe Lufttemperatur in der Periode von April bis September in einem der drei gemittelten Beurteilungsjahren ausgeprägt waren, desto höher ist der Anteil an Stationen mit Zielwertüberschreitungen (siehe Abbildung 25).

Abbildung 25:



https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

Das Langfristziel für Ozon gilt nur als eingehalten, wenn im Beurteilungsjahr kein täglich maximaler 8-Stundenmittelwerte über 120 µg/m^3 registriert wurde. Eine Einhaltung ist sehr selten, ähnlich zu den Vorjahren überschritten 2025 fast alle Stationen (99 %) dieses Langfristziel.

Im Jahr 2025 überschritten lediglich 3 % der Stationen den Zielwert zum Schutz der Vegetation, 93 % überschritten jedoch das Langfristziel.

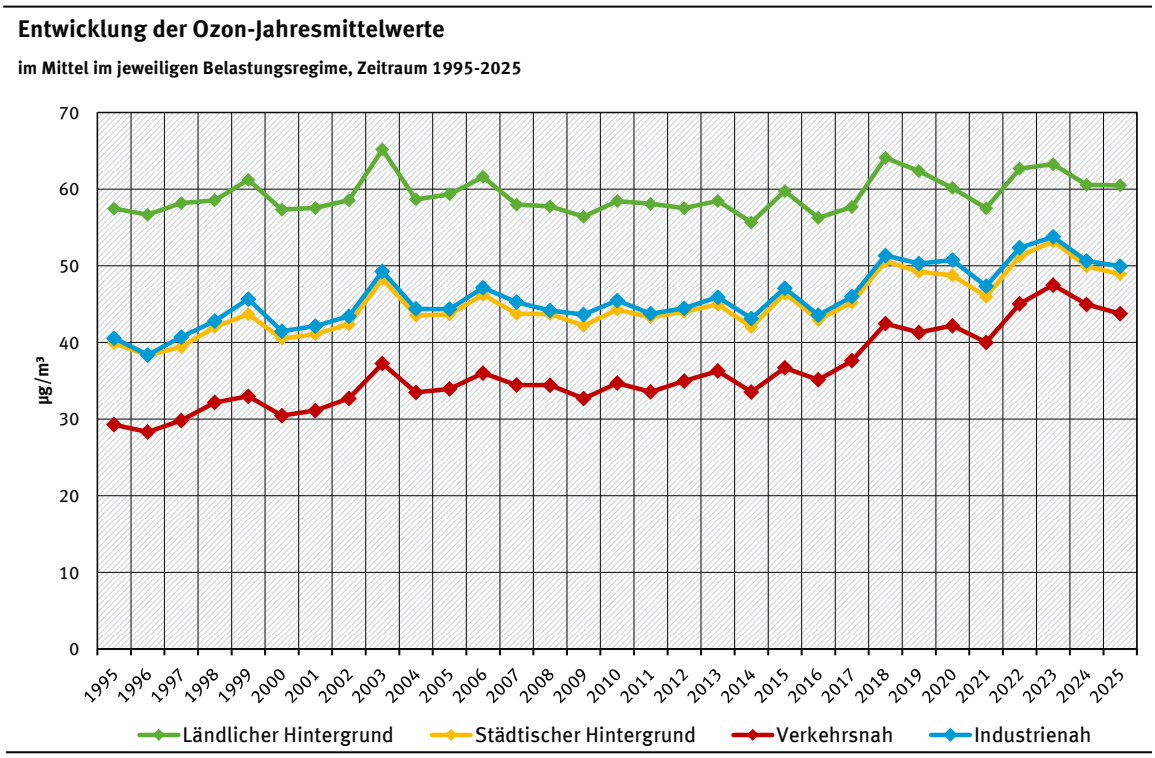
6.3.3 Entwicklung

Überschreitungen der Ozon-Schwellenwerte (Informations- und Alarmschwelle) sind in den letzten 20 Jahren deutlich zurückgegangen. Bei den Überschreitungen des Zielwertes und des Langfristziels ist kein deutlicher Trend zu verzeichnen.

Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen spielen bei der Bewertung der Belastung eine nachgeordnete Rolle. Außer im ländlichen Hintergrund zeigen alle Stationstypen im Mittel einen zunehmenden Trend (siehe Abbildung 26). Einerseits nahmen die Ozonspitzenwerte durch die Minderungsmaßnahmen für die NO_x- und NMVOC-Emissionen in Deutschland deutlich ab, andererseits führte dies wegen der Verringerung des Titrationseffekts (Ozonabbau durch Stickstoffmonoxid) zu einem Anstieg der mittelhohen Ozonkonzentrationen, was

schließlich bei den Jahresmittelwerten sichtbar wird. Zudem spielt auch der interkontinentale (hemisphärische) Transport für die Ozonbelastung in Deutschland eine Rolle.

Abbildung 26:



https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/ozon

7 Staubinhaltsstoffe

Zu den überwachten Staubinhaltstoffen von PM_{10} gehören die Metalle Blei, Cadmium, Nickel und Arsen. Zudem wird Benzo(a)pyren gemessen, welches als Marker für das Krebserzeugungsrisiko von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen genutzt wird.

Auch wenn Metalle hauptsächlich über die Nahrung aufgenommen werden, geht von der Inhalation eine Gefahr aus. Blei und seine Verbindungen werden über die menschliche Lunge gut resorbiert und sind bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) als möglicherweise/wahrscheinlich krebserregend eingestuft.

Cadmium wird hauptsächlich über die Nahrung aufgenommen. Bei chronischer inhalativer Cadmiumaufnahme kann sich ein sogenannter Cd-Schnupfen entwickeln. Cadmium ist vor allem nierentoxisch und führt zu Störungen des Knochenstoffwechsels. Cadmium und seine anorganischen Verbindungen sind als krebserregend eingestuft.

Nickeldämpfe können bei chronischer Einwirkung eine Degeneration der Nasenschleimhaut, Asthma und Pneumokoniosen verursachen; für die Allgemeinbevölkerung ist Nickel jedoch im Wesentlichen als Kontaktallergen von Bedeutung. Nickelverbindungen sind generell als krebserzeugend für den Menschen eingestuft, metallisches Nickel gilt als wahrscheinlich krebserregend.

Arsen kann sowohl über die Lunge als auch über den Magen- und Darmtrakt aufgenommen werden. Nach chronischer Aufnahme über die Luft werden die Schleimhäute und Atemwege geschädigt und es kann Lungenkrebs entstehen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzo(a)pyren (B(a)P) können staubgebunden eingeatmet oder mit der Nahrung aufgenommen werden. Sie lagern sich dann im Fettgewebe ab. Benzo(a)pyren ist krebserregend. Bei Aufnahme durch die Atmung wird vor allem die Lunge geschädigt.

7.1 Blei, Cadmium, Nickel, Arsen und B(a)P im PM_{10}

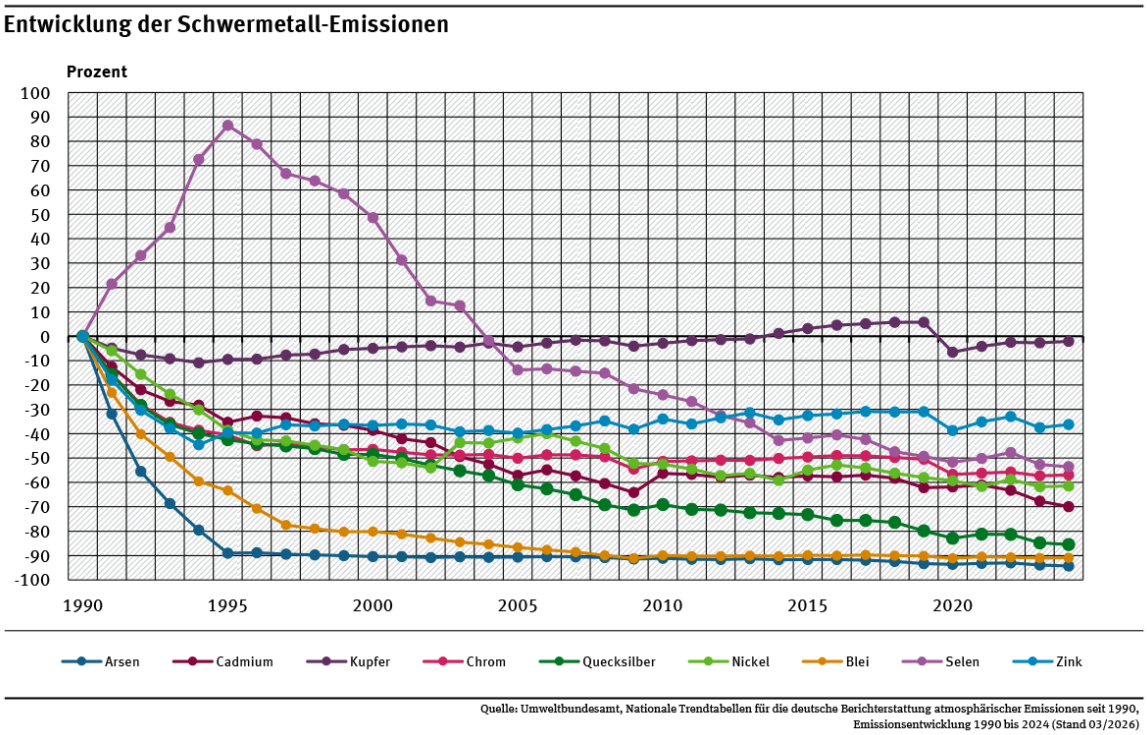
7.1.1 Freisetzung

Grundsätzlich sanken die Emissionen der wichtigsten Schwermetalle, darunter auch Cadmium und Blei seit 1990 deutlich (siehe Abbildung 27). Die Werte zeigen überwiegend Reduktionen von über 60 bis über 90 %. Der Großteil der Reduktion erfolgte dabei in den frühen 1990-er Jahren, wobei wesentliche Reduktionen auch schon vor 1990 stattfanden.

Schwermetalle finden sich – in unterschiedlichem Umfang – in den staub- und gasförmigen Emissionen fast aller Verbrennungs- und vieler Produktionsprozesse, die wichtigste Quelle der meisten Schwermetalle ist der Brennstoffeinsatz im Energie-Bereich. Bei Arsen, Quecksilber und Nickel hat die Energiewirtschaft den größten Anteil, gefolgt von den prozessbedingten Emissionen der Industrie, vor allem aus der Herstellung von Metallen. Cadmium stammt sogar größtenteils aus der Metall-Herstellung. Blei-, Chrom-, Kupfer- und Zink-Emissionen werden überwiegend durch den Abrieb von Bremsen und Reifen im Verkehrsbereich beeinflusst.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe entstehen durch unvollständige Verbrennung. Hauptquellgruppe sind mit Abstand die kleinen Feuerungsanlagen der Haushalte.

Abbildung 27:



https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/schwermetall-emissionen#entwicklung-seit-1990

https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emissionen-persistenter-organischer-schadstoffe#hexachlorbenzl-hcb

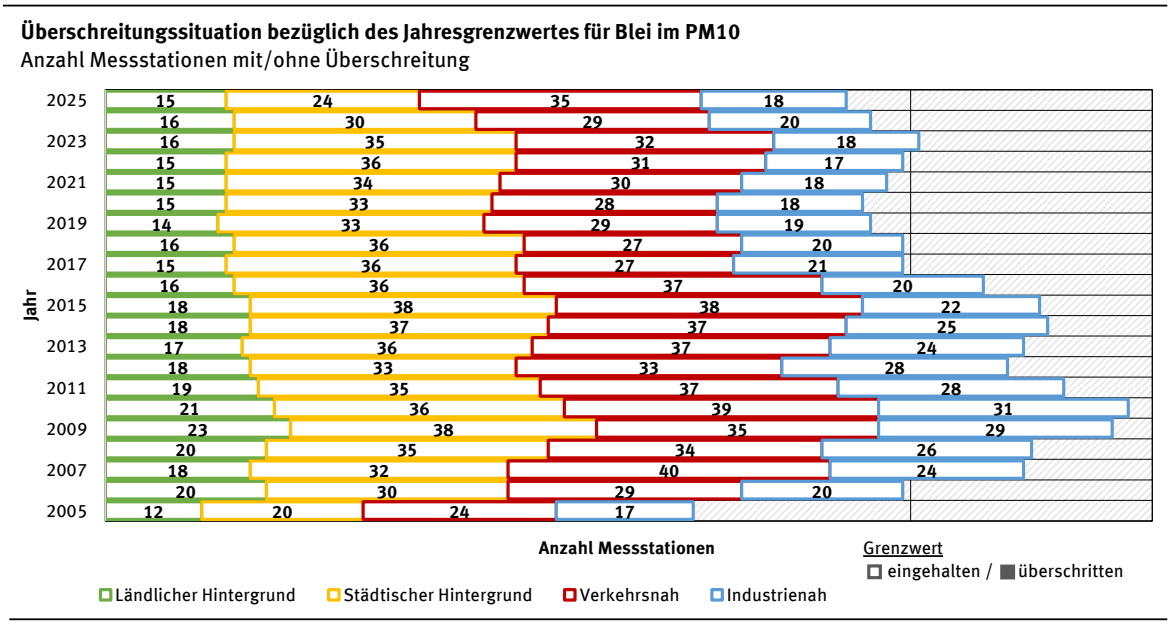
7.1.2 Belastung

Überschreitungen von Grenz- und Zielwerten der Metalle und von B(a)P im PM_{10} sind äußert selten und beschränken sich meist auf sehr vereinzelte, meist industrienahe Stationen.

7.1.2.1 Blei im PM_{10}

Für Blei als Bestandteil der PM_{10}-Fraktion gilt seit dem 1. Januar 2005 europaweit der Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 0,5 µg/m^3 dürfen im Jahresmittel nicht überschritten werden. Eine gesundheitliche Gefährdung durch Blei in der Außenluft ist in Deutschland sehr unwahrscheinlich. Der Grenzwert wurde in Deutschland seit Inkrafttreten im Jahr 2005 an keiner Station überschritten (siehe Abbildung 28).

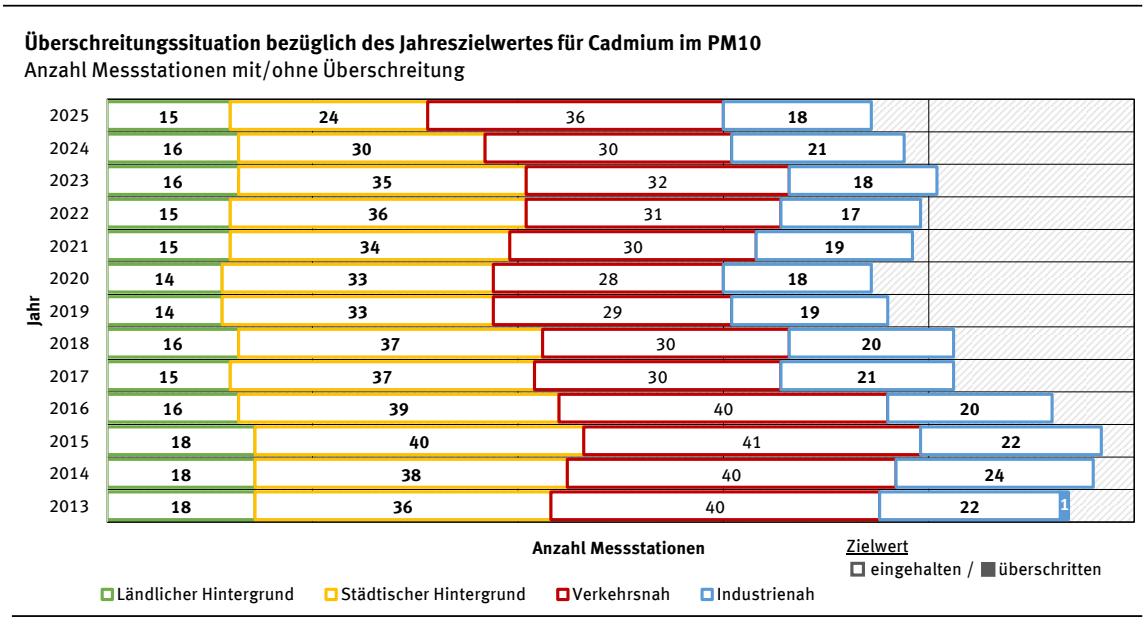
Abbildung 28:



7.1.2.2 Cadmium im PM_{10}

Für Cadmium gilt europaweit seit dem 1.1.2013 ein Zielwert von 5 ng/m^3. Zuletzt und einmalig wurde dieser 2013 an einer industrienahen Station überschritten (siehe Abbildung 29).

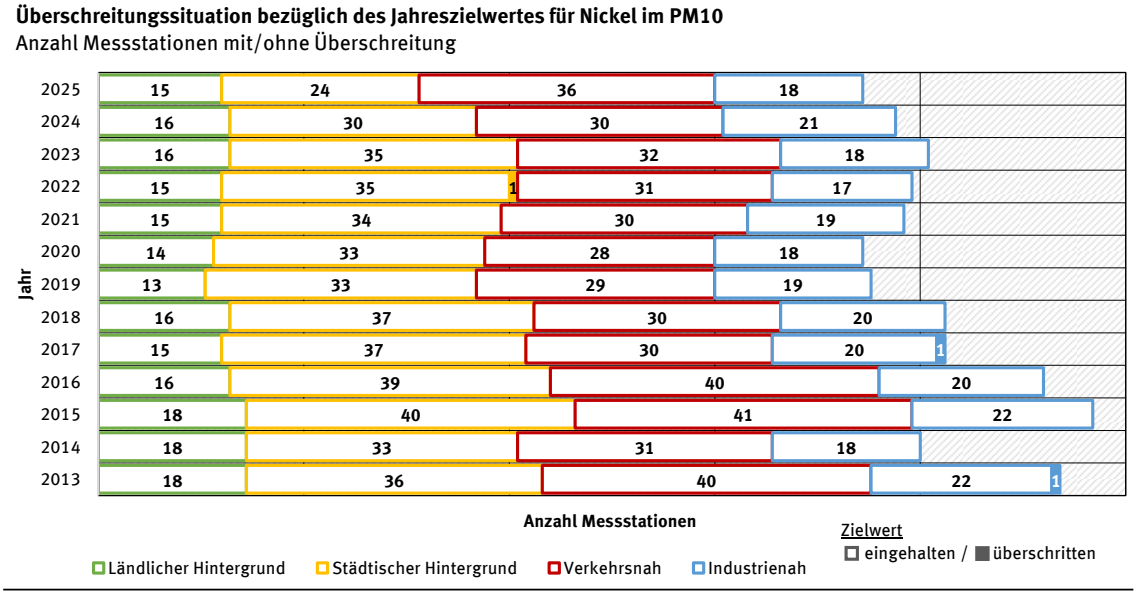
Abbildung 29:



7.1.2.3 Nickel im PM_{10}

Für Nickel gilt europaweit seit dem 1.1.2013 ein Zielwert von 20 ng/m^3 als Jahresmittelwert. Zuletzt wurde dieser 2022 an einer Station im städtischen Hintergrund, davor 2017 und 2013 jeweils an einer industrienahen Station überschritten (siehe Abbildung 30).

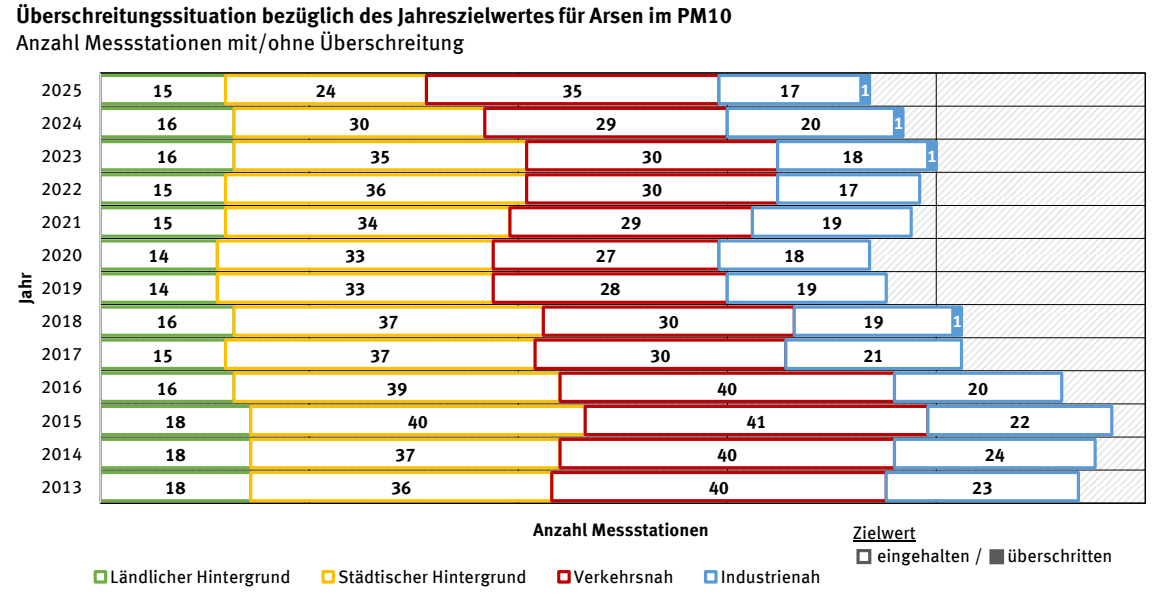
Abbildung 30:



7.1.2.4 Arsen im PM_{10}

Für Arsen gilt europaweit seit dem 1.1.2013 ein Zielwert von 6 ng/m^3 als Jahresmittelwert. Bisher wurden vier industrienahe Überschreitungen registriert, 2023-2025 an einer industrienahen Station in Nordrhein-Westfalen und davor 2018 an einer weiteren industrienahen Station (siehe Abbildung 31).

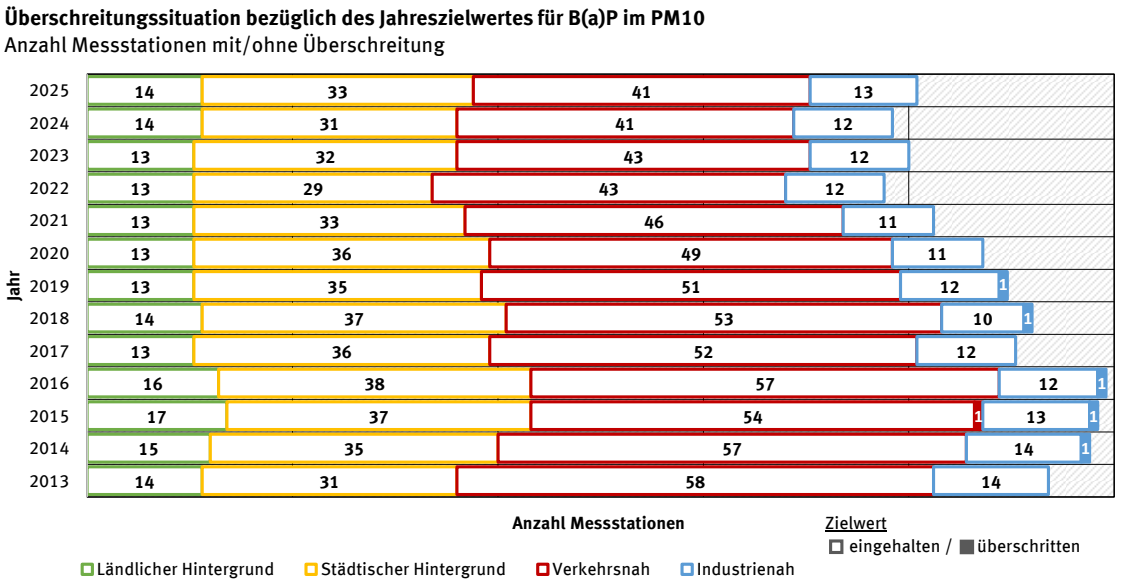
Abbildung 31:



7.1.2.5 B(a)P im PM_{10}

Für Benzo(a)pyren gilt europaweit seit dem 1.1.2013 ein Zielwert von 1 ng/m^3 als Jahresmittelwert. Dieser wurde in den letzten 13 Jahren sehr vereinzelt industrienah überschritten, 2015 auch verkehrsnah (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32:



https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen

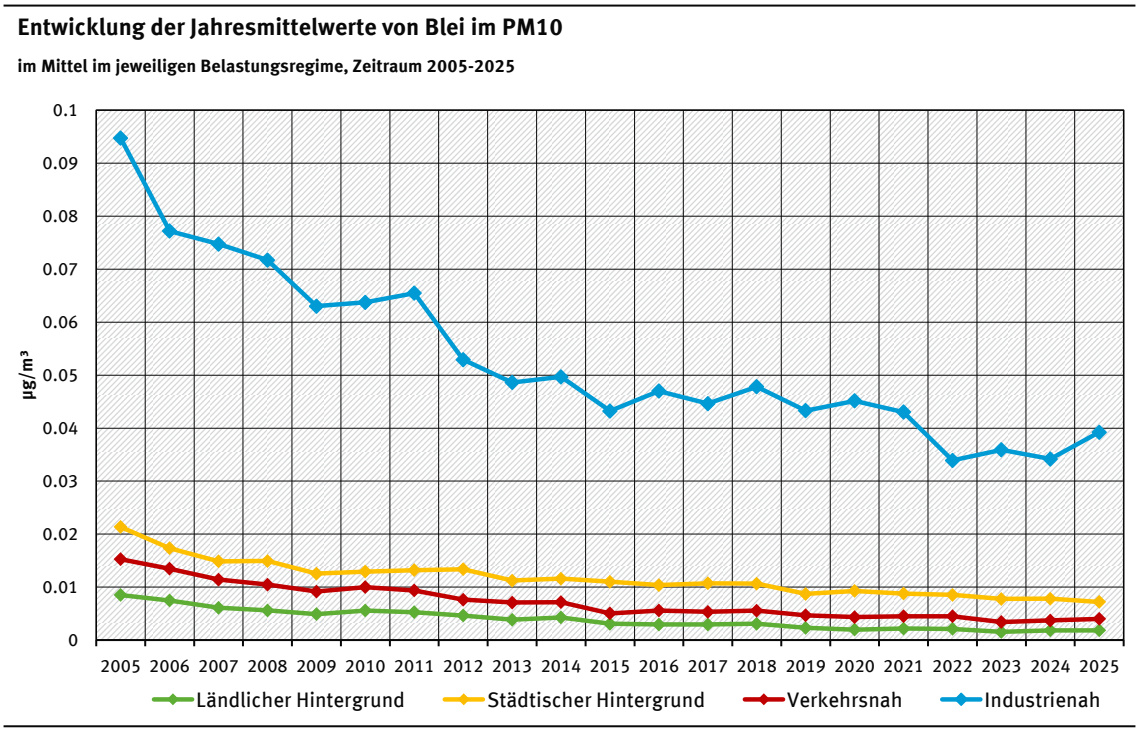
7.1.3 Entwicklung

Staubinhaltsstoffe werden unter anderem mit industrienahen Messstationen überwacht. Deren mittlere Trendkurven unterliegen starken zwischenjährlichen Schwankungen. Das liegt an der relativ geringen Anzahl an Stationen und daran, dass industrienahe Messungen lokale Belastungen abbilden, die sich charakteristisch aus den Emissionen der individuellen Industrieanlagen vor Ort ergeben.

7.1.3.1 Blei im PM_{10}

Die höchsten Bleikonzentrationen werden im Mittel industrienah gemessen, liegen aber auch dort weit unter dem Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (siehe Abbildung 33). Zudem sind die mittleren Belastungen in allen Belastungsregimes rückläufig.

Abbildung 33:



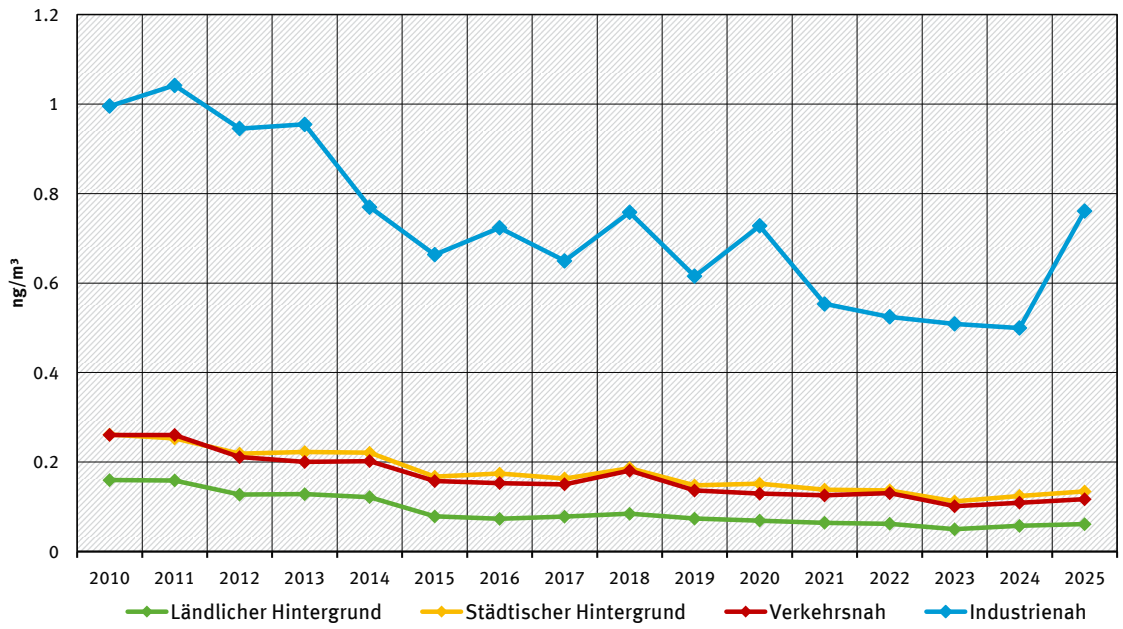
7.1.3.2 Cadmium im PM_{10}

Die höchsten Cadmiumkonzentrationen werden im Mittel industrienah gemessen, liegen aber auch dort weit unter dem Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (siehe Abbildung 34). Zudem sind die mittleren Belastungen in allen Belastungsregimes im Gesamtzeitraum rückläufig.

Abbildung 34:

Entwicklung der Jahresmittelwerte von Cadmium im PM10

im Mittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010-2025



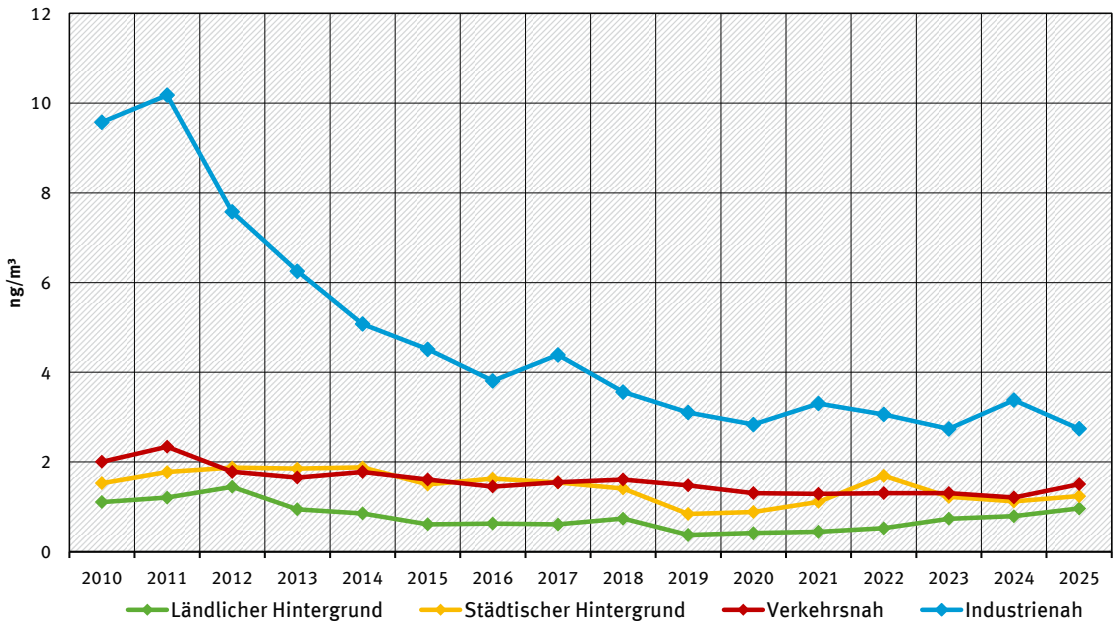
7.1.3.3 Nickel im PM_{10}

Die höchsten Nickelkonzentrationen werden im Mittel industrienah gemessen, liegen aber auch dort weit unter dem Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (siehe Abbildung 35). Zudem sind die mittleren industrienahen Belastungen deutlich rückläufig, innerhalb der weiteren drei Belastungsregimes ist der rückläufige Trend nicht so deutlich ausgeprägt.

Abbildung 35:

Entwicklung der Jahresmittelwerte von Nickel im PM10

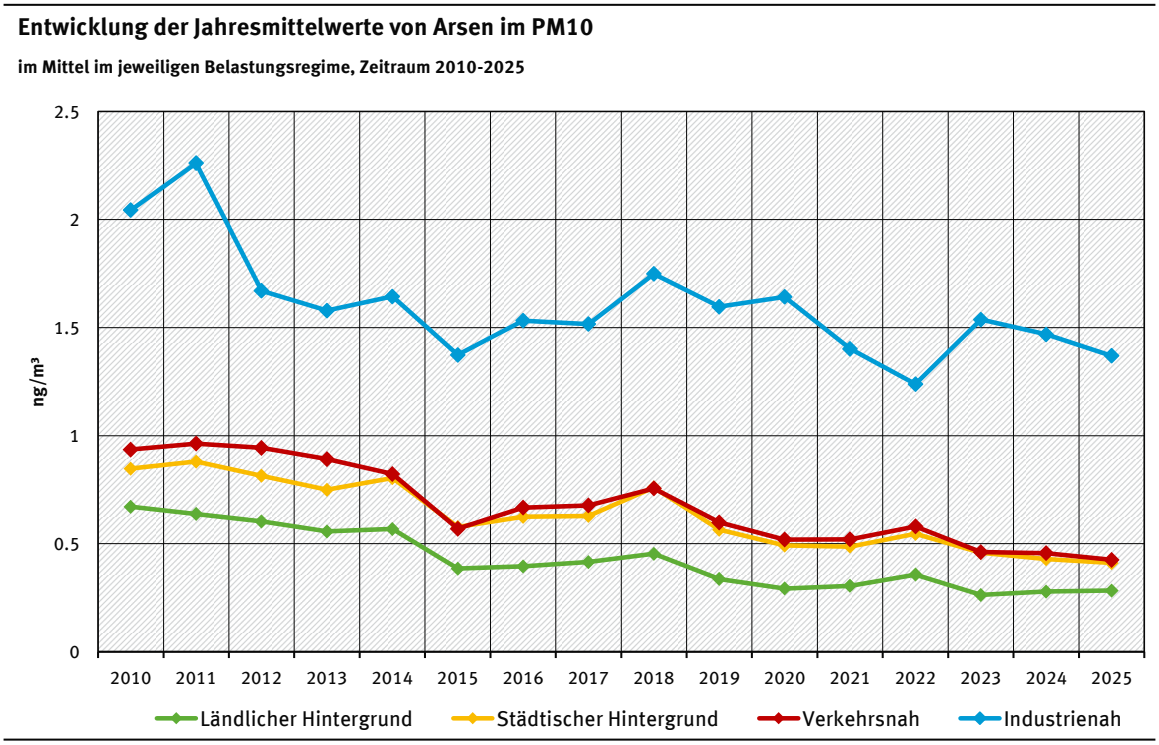
im Mittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010-2025



7.1.3.4 Arsen im PM_{10}

Die höchsten Arsenkonzentrationen werden im Mittel industrienah gemessen, liegen aber auch dort weit unter dem Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (siehe Abbildung 36). Zudem sind die mittleren Belastungen verkehrsnah und im Hintergrund deutlich rückläufig, industrienah ist der rückläufige Trend nicht so deutlich ausgeprägt.

Abbildung 36:



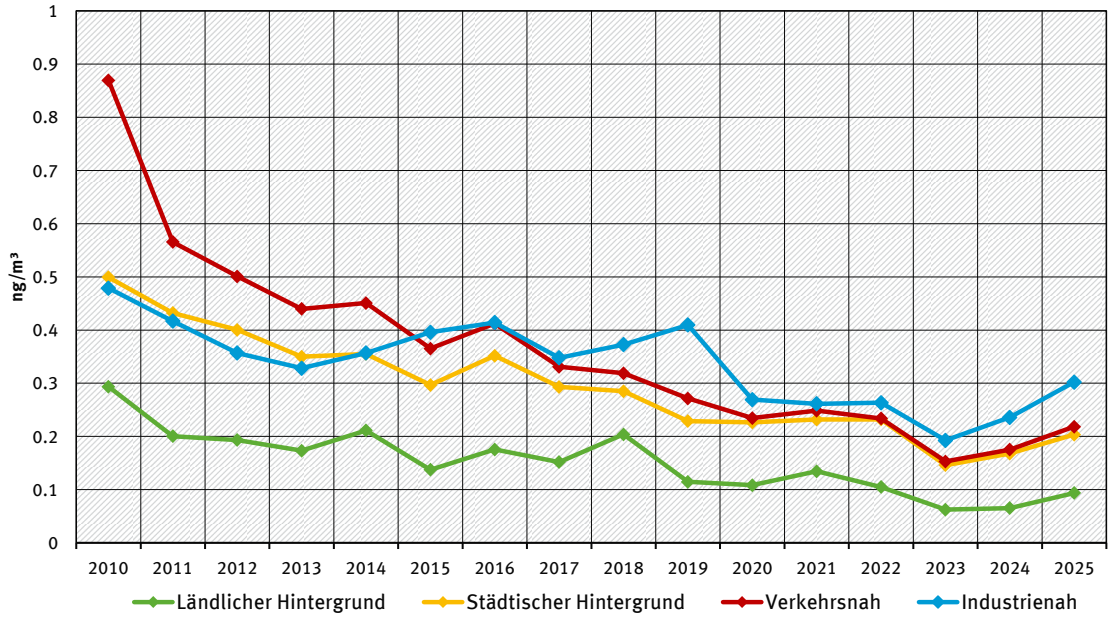
7.1.3.5 B(a)P im PM_{10}

Die höchsten, mittleren B(a)P-Konzentrationen treten verkehrs-, industrienah und im städtischen Hintergrund auf. Die mittleren Werte in allen 4 Belastungsregimes liegen im Mittel unter dem Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit und weisen einen rückläufigen Trend auf (siehe Abbildung 37).

Abbildung 37:

Entwicklung der Jahresmittelwerte von B(a)P im PM10

im Mittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010-2025



Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Fachgebiet II4.2
06844 Dessau-Roßlau
immission@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Stand: November/2026