



HINTERGRUND // FEBRUAR 2021

Luftqualität 2020

Vorläufige Auswertung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

HINTERGRUND // FEBRUAR 2021

Luftqualität 2020

Vorläufige Auswertung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Deutschlandkarte der Luftmessstationen	6
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Belastungsregime für Feinstaub und Stickstoffdioxid	7
Abbildung 3:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes	8
Abbildung 4:	Mittlere Anzahl von PM ₁₀ -Überschreitungstagen	9
Abbildung 5:	Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte	10
Abbildung 6:	Entwicklung der PM _{2,5} -Jahresmittelwerte und des Average Exposure Indicators (AEI)	11
Abbildung 7:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes	12
Abbildung 8:	Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte	13
Abbildung 9:	Mittlere NO ₂ -Monatsmittelwerte 2016–2020	14
Abbildung 10:	NO ₂ -Jahresmittelwerte 2020	15
Abbildung 11:	Überschreitungsstunden der Informationsschwelle (180 µg/m ³)	16
Abbildung 12:	Räumliche Verteilung der Überschreitungstage des Langfristziels zum Schutz der Gesundheit (Zahl der Tage mit maximalen 8-Stundenmittelwerten > 120 µg/m ³)	17
Abbildung 13:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes	18
Abbildung 14:	Vergleich der NO ₂ -Belastung der gesamten Luftsäule in Europa zwischen März/April 2019 und 2020	20
Abbildung 15:	Zusammensetzung deutscher NO _x - und PM ₁₀ -Emissionen für das Jahr 2019.	22
Abbildung 16:	Stündliche NO ₂ -Verläufe im März und April 2020 für alle verkehrsnahen Stationen. Lockdown-Zeitraum markiert	23
Abbildung 17:	Mittlere verkehrsnahen NO ₂ -Tagesgänge für Deutschland und alle Bundesländer 2020, Lockdown-Zeitraum in gelb	25
Abbildung 18:	Verteilung des Auftretens der niedrigsten nachmittäglichen NO ₂ -Belastung (Mo-Fr, 13–18 Uhr) an allen verkehrsnahen Messstationen in Deutschland 2020	26
Abbildung 19:	Zusammensetzung der städtischen NO ₂ -Belastung	27
Abbildung 20:	Beispielhafter Verlauf einer Messung verkehrsnah und im städt. Hintergrund mit gekennzeichnetem lokalen Verkehrsbeitrag	27
Abbildung 21:	Mittlere Verläufe der lokalen Verkehrsbeiträge der 30 Gemeinden drei Monate vor und nach Frühjahrs-Lockdown 2020, Lockdown-Zeitraum gelb markiert	28
Abbildung 22:	Mittlere NO ₂ -Zeitreihen in deutschen Städten >100 000 Einwohner (rot) verglichen mit den mittels meteorologischer Parameter gefitteten Zeitverläufen und deren Prognose für die Corona-Phase (grau). Dargestellt sind Tagesmittel an Werktagen von verkehrsnahen Messstellen für die Regionen Nord- und Ost-Deutschland (R-N-O-D), Westdeutschland (R-W-D) und Süddeutschland (R-S-D); Beginn Corona-Lockdown (gelb).	29
Abbildung 23:	Relative Änderungen der NO ₂ -Konzentrationen aufgrund der Lockdown-Einschränkungen im April 2020.	30
Abbildung 24:	Verkehrsnahen NO ₂ -Jahresmittelwerte 2020 aller stündlich messenden Stationen	31
Tabelle 1:	Mittelungszeiträume nach Kalenderwochen und entsprechende Zeiträume mit Datum	21

Inhalt

I Luftqualität 2020: 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: Weiterhin Rückgang der Belastung	8
1 PM ₁₀ -Tagesmittelwerte	8
2 PM ₁₀ -Jahresmittelwerte	9
3 PM _{2,5} -Belastung	10
III Stickstoffdioxid: Kaum noch Überschreitungen des Grenzwertes	12
1 NO ₂ -Jahresmittelwerte	12
2 NO ₂ -Stundenmittelwerte	14
IV Bodennahes Ozon: Geringere Belastung als in den beiden Vorjahren	16
1 O ₃ – Informations- und Alarmschwelle	16
2 O ₃ – Zielwert und Langfristziel zum Schutz der menschlichen Gesundheit	17
3 O ₃ – Schutz der Vegetation	18
V Luftqualität während des Frühjahr-Lockdowns	20
1 Einleitung	20
2 NO ₂ -Situation während des Frühjahr-Lockdowns	23
3 Auswirkung auf die Einhaltung der Luftgrenzwerte	31
4 Fazit	32
5 Verweise	32
Weitere Informationen zum Thema	34

I Luftqualität 2020: Datengrundlage und Auswertemethodik

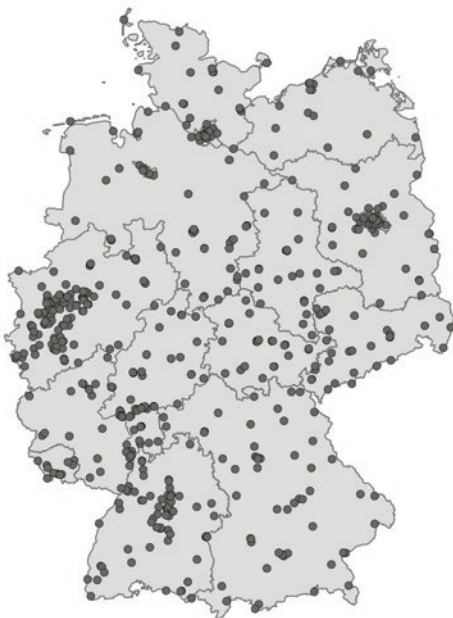
1 Luftqualität und Luftschadstoffe

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.

Abbildung 1

Deutschlandkarte der Luftmessstationen



Quelle: Umweltbundesamt 2021

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

sind Partikel, die den gröbselektierenden Lufteinlass eines Messgerätes passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 (PM_{10}) 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 (NO_2)

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 (O_3)

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.

Die Auswertung und Beurteilung der Luftqualität erfolgt im Hinblick auf die in der Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa¹ definierten

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

Grenz- und Zielwerte. Die Ergebnisse werden zudem mit den wesentlich strengeren Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) verglichen.

2 Vorläufigkeit der Angaben

Diese Auswertung der Luftqualität im Jahr 2020 in Deutschland basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, Stand 1. Februar 2021. Aufgrund der umfangreichen Qualitätssicherung in den Messnetzen stehen die endgültigen Daten erst Mitte 2021 zur Verfügung.

Die jetzt vorliegenden Daten lassen aber eine generelle Einschätzung des vergangenen Jahres zu. Betrachtet werden die Schadstoffe Feinstaub (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$), Stickstoffdioxid (NO_2) sowie Ozon (O_3), 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.

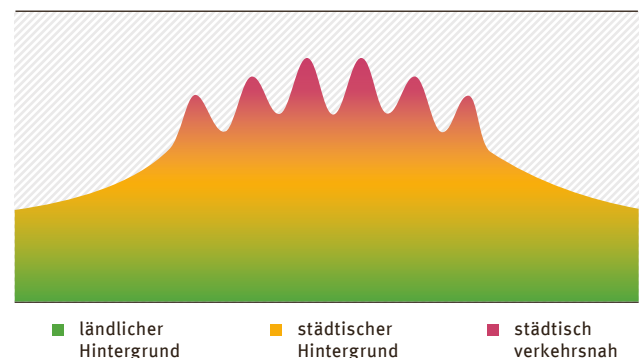
Bei hohen Windgeschwindigkeiten und guten Durchmischungsbedingungen verringert sich hingegen die Schadstoffbelastung. Zwischenjährige Schwankungen in der Luftbelastung werden in erster Linie durch diese unterschiedlichen Witterungsbedingungen verursacht. Sie überlagern daher den Einfluss der eher langfristigen Entwicklung der Emissionen.

4 Einfluss der Umgebungsbedingungen

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationenwerte 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 PM_{10} , Atmospheric Environment 35 (2001) S23–S33

II Feinstaub: Weiterhin Rückgang der Belastung

1 PM₁₀-Tagesmittelwerte

Ebenso wie im Vorjahr wurden an keiner der rund 380 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 3 ersichtlich wird (gelbe Balken).

Die Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO²) wurde an 12 Prozent aller Stationen nicht eingehalten, das sind deutlich weniger Überschreitungen als im Jahr davor (37 %).

Abbildung 4 zeigt auf, wie viele Überschreitungstage im Mittel pro Monat registriert wurden. Das Jahr 2020 wird hier dem Vorjahr 2019 und einem längeren Referenzzeitraum (2005–2019) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass im gesamten letzten Jahr vergleichsweise sehr wenige Überschreitungstage auftraten,

EU-Grenzwert

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

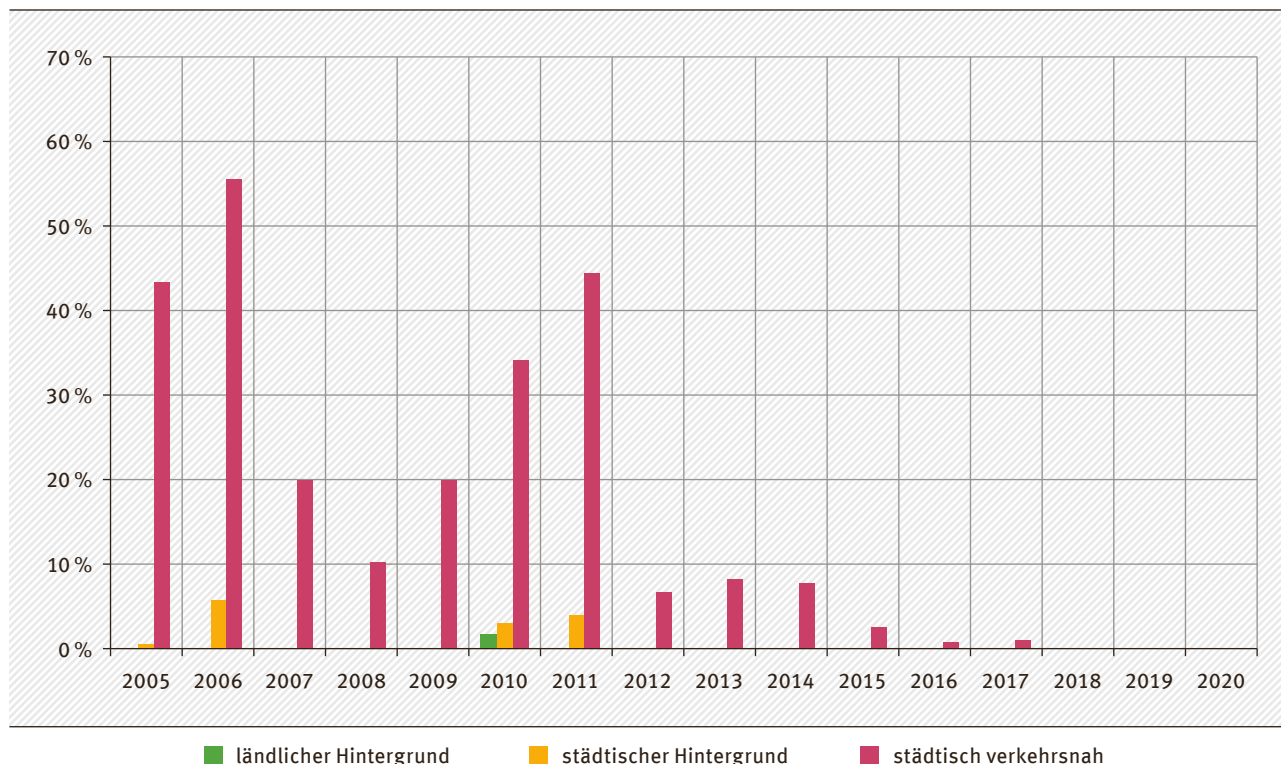
WHO-Empfehlung

Der PM₁₀-Tagesmittelwert sollte nicht öfter als 3-mal im Jahr 50 µg/m³ überschreiten.

² WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/housing-and-health/publications/pre-2009/air-quality-guidelines-global-update-2005-particulate-matter-ozone-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>

Abbildung 3

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das PM₁₀-Tagesmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2005–2020

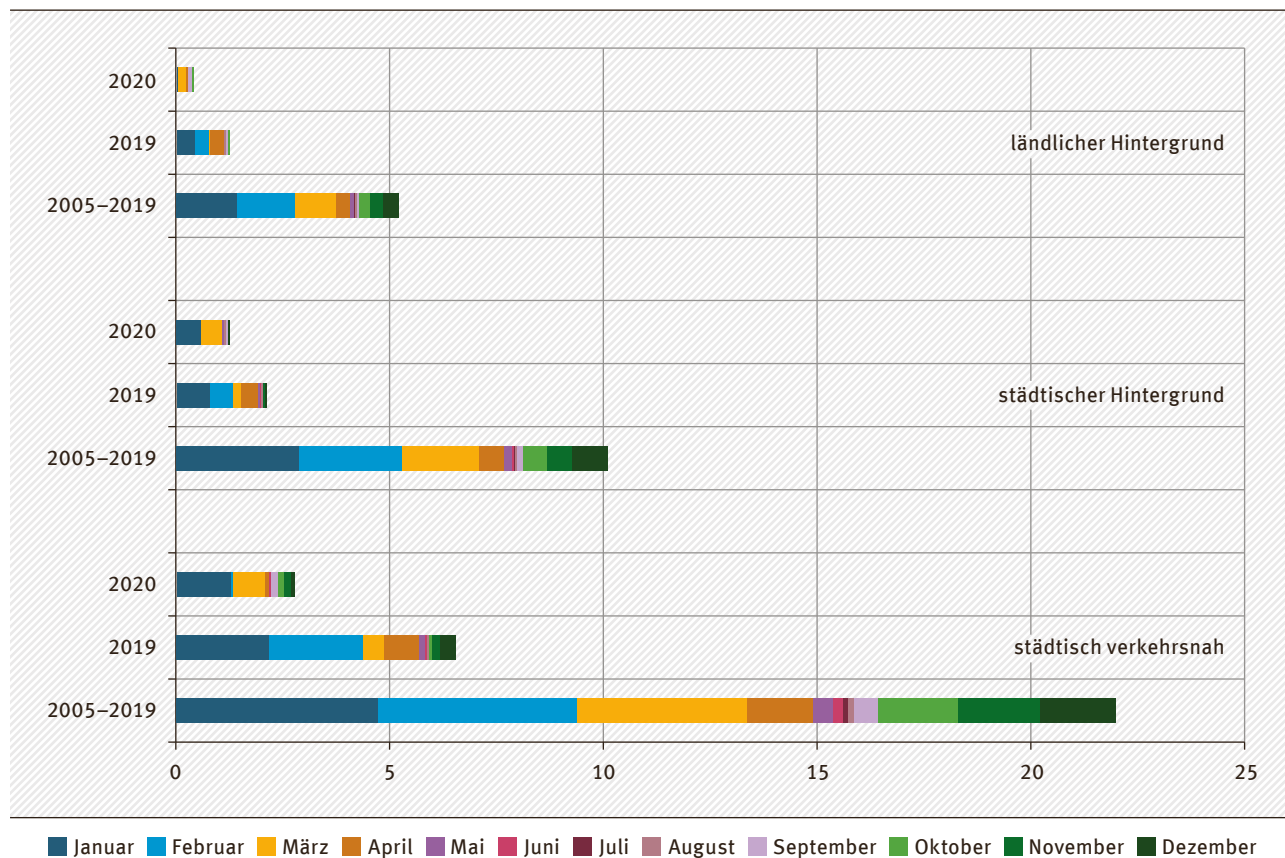


Quelle: Umweltbundesamt 2021

Abbildung 4

Mittlere Anzahl von PM₁₀-Überschreitungstagen

(Tagesmittelwerte > 50 µg/m³) pro Monat im jeweiligen Belastungsregime, dargestellt für die Jahre 2020, 2019 und den Zeitraum 2005–2019



Quelle: Umweltbundesamt 2021

die wenigen, die es gab, wurden hauptsächlich im Januar und März registriert. Diese außergewöhnlich niedrige Zahl an Überschreitungstagen geht einher mit einem extrem milden und feuchten Winter: Die beiden Wintermonate Januar und Februar zeigten dabei neben dem April und August die höchsten positiven Abweichungen der Temperatur³. Der Winter war damit der zweitwärmste seit Aufzeichnungsbeginn⁴. Auch die Monate November und Dezember waren milder als normal, bis auf den Mai waren damit alle Monate zu warm, so dass 2020 als zweitwärmstes Jahr in die Statistiken eingeht.

Auch wenn im Jahr 2020 die typischen, winterlichen Episoden mit hohen Feinstaubwerten ausblieben, so ist es bei einer entsprechenden Wetterlage (niedrige Temperaturen und stabile Lage des Hochdruck-

gebiets) auch in Zukunft nicht auszuschließen, dass es zu Überschreitungen des PM₁₀-Tagesmittelgrenzwertes kommt.

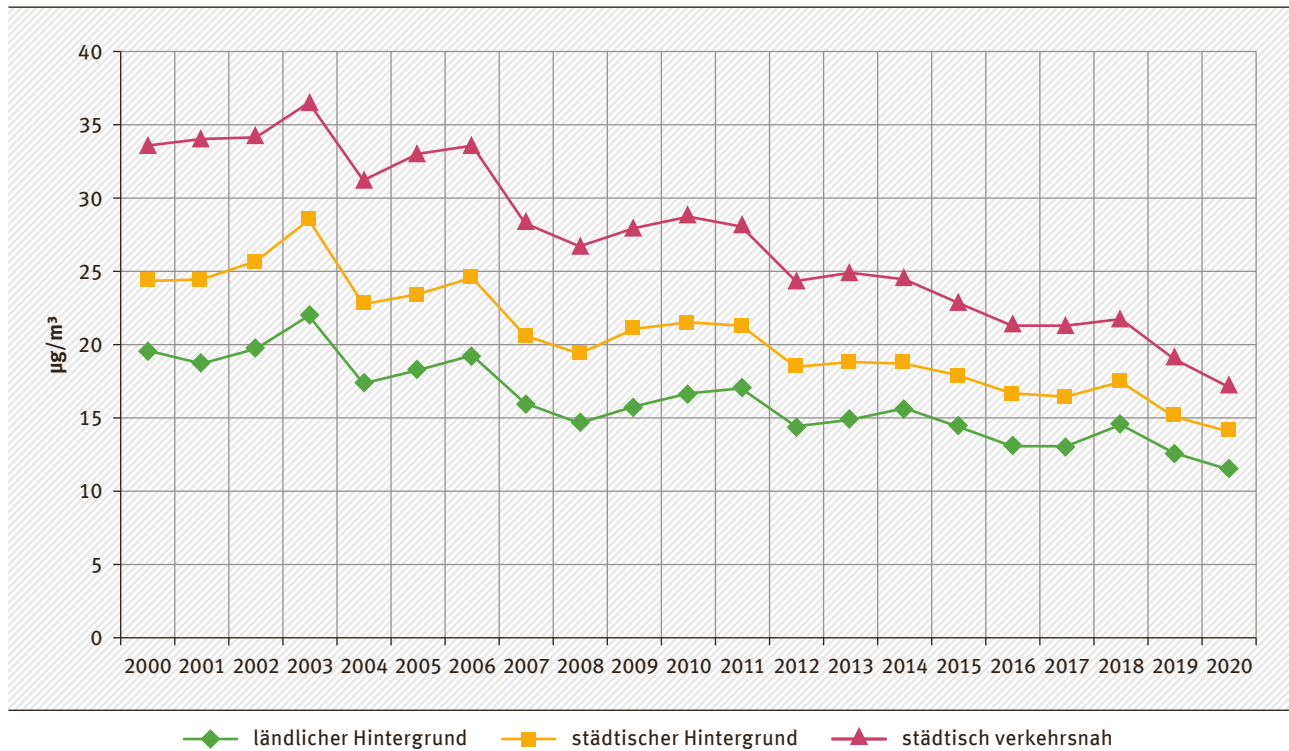
2 PM₁₀-Jahresmittelwerte

Auch im Jahr 2020 setzt sich der kontinuierliche Rückgang der mittleren Belastung wieder fort. Damit war 2020 das am wenigsten belastete Jahr im hier betrachteten Zeitraum ab 2000 (Abbildung 5). 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 zwischenjährige Schwankungen geprägt, vor allem wegen der unterschiedlichen Witterungsverhältnisse. Der PM₁₀-Jahresmittelgrenzwert wurde deutschlandweit eingehalten. Nur noch rund 5 Prozent der Messstationen wiesen Werte oberhalb des von der WHO vorgeschlagenen Luftgüteleitwertes auf (ausschließlich Stationen im verkehrsnahen Bereich).

³ Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20201230_deutschlandwetter_jahr_2020_news.html?nn=16210

⁴ Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20200228_deutschlandwetter_winter2019_2020.html?nn=714786

Abbildung 5

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte**im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2020**

Quelle: Umweltbundesamt 2021

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 2020 nicht überschritten. Die mittleren PM_{2,5}-Jahresmittelwerte zeigen über den gesamten betrachteten Zeitraum und alle Regime einen deutlichen Rückgang (Abbildung 6). 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. Allerdings werden immer noch die strengeren WHO-Empfehlungen überschritten: an 13 Prozent der etwas über 160 Stationen wurde die WHO-Empfehlung für das Jahresmittel (10 µg/m³) überschritten, das sind deutlich weniger Überschreitungen als im Vorjahr (2019: 56 %). Weiterhin empfiehlt die WHO, dass PM_{2,5}-Tagesmittelwerte nicht öfter als 3-mal im

EU-Grenzwert

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

WHO-Empfehlung

Der PM₁₀-Jahresmittelwert sollte 20 µg/m³ nicht überschreiten.

EU-Grenzwert

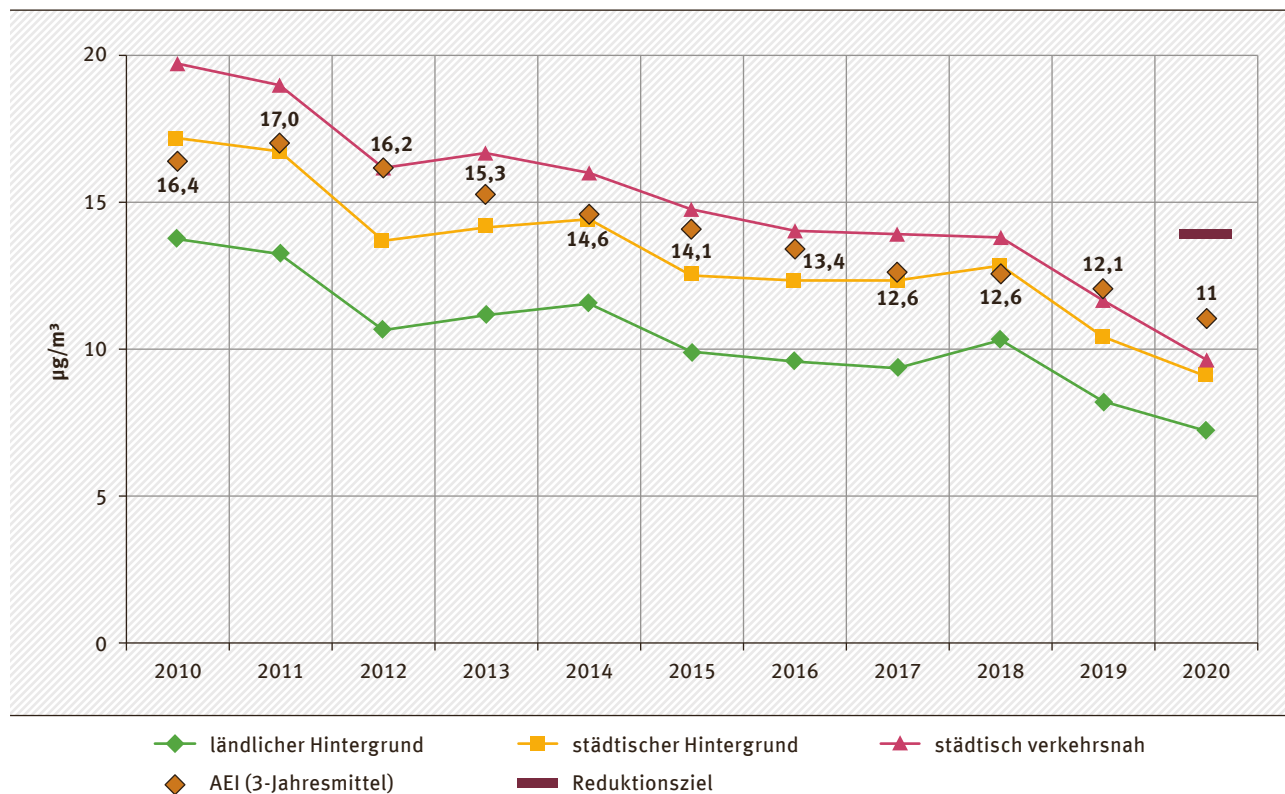
Der PM_{2,5}-Jahresmittelwert darf 25 µg/m³ nicht überschreiten.

WHO-Empfehlung

Der PM_{2,5}-Jahresmittelwert sollte 10 µg/m³ nicht überschreiten. Der PM_{2,5}-Tagesmittelwert sollte nicht öfter als 3-mal im Jahr 25 µg/m³ überschreiten.

Abbildung 6

Entwicklung der PM_{2,5}-Jahresmittelwerte und des Average Exposure Indicators (AEI)
im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010–2020



Quelle: Umweltbundesamt 2021

Jahr über 25 µg/m³ liegen sollten. Diese Empfehlung wurde an den meisten Stationen überschritten (86 %). Zudem fordert die EU-Luftqualitätsrichtlinie, die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung gegenüber PM_{2,5} bis zum Jahr 2020 zu senken. Dazu wurde der Indikator für die durchschnittliche Exposition – Average Exposure Indicator (AEI) – entwickelt. Als Ausgangswert für das Jahr 2010 wurde für Deutschland ein AEI von 16,4 µg/m³ als Mittelwert der Jahre 2008 bis 2010 berechnet. Daraus leitet sich nach den Vorgaben der EU-Richtlinie ein nationales Minderungsziel von 15 Prozent bis zum Jahr 2020 ab. Demnach darf der für das Jahr 2020 (Mittelwert der Jahre 2018, 2019, 2020) berechnete AEI den Wert von 13,9 µg/m³ nicht überschreiten. Auch wenn für die Berechnung des AEI noch nicht alle notwendigen Stationsdaten vorliegen, ist jetzt schon klar: Deutschland wird das Minderungsziel von 15 Prozent zum Jahr 2020 einhalten. Der AEI für das Jahr 2020 (Mittelwert der Jahre 2018, 2019 und 2020) liegt zum jetzigen Stand bei 11 µg/m³, also deutlich unter den geforderten 13,9 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.

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 Indicator (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 µg/m³.

III Stickstoffdioxid: Kaum noch Überschreitungen des Grenzwertes

1 NO₂-Jahresmittelwerte

Stickstoffdioxid wird in Deutschland an ungefähr 400 automatischen Messstationen gemessen. Dazu kommen circa 140 Passivsammler, deren Ergebnisse für diese vorläufige Auswertung zum größten Teil noch nicht vorliegen. Unter Einbeziehung aller Daten, die dem UBA zum 1. Februar 2021 vorlagen, beträgt der Anteil der verkehrsnahen Stationen mit Überschreitung 2 %. Mittels einer aus Vorjahresdaten abgeleiteten Hochrechnung schätzen wir den Anteil aller verkehrsnahen Stationen mit Überschreitung des Grenzwertes bzw. der identischen WHO-Empfehlung im Jahr 2020 auf ca. 3–4 Prozent (Abbildung 7, rote Balken).

EU-Grenzwert

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

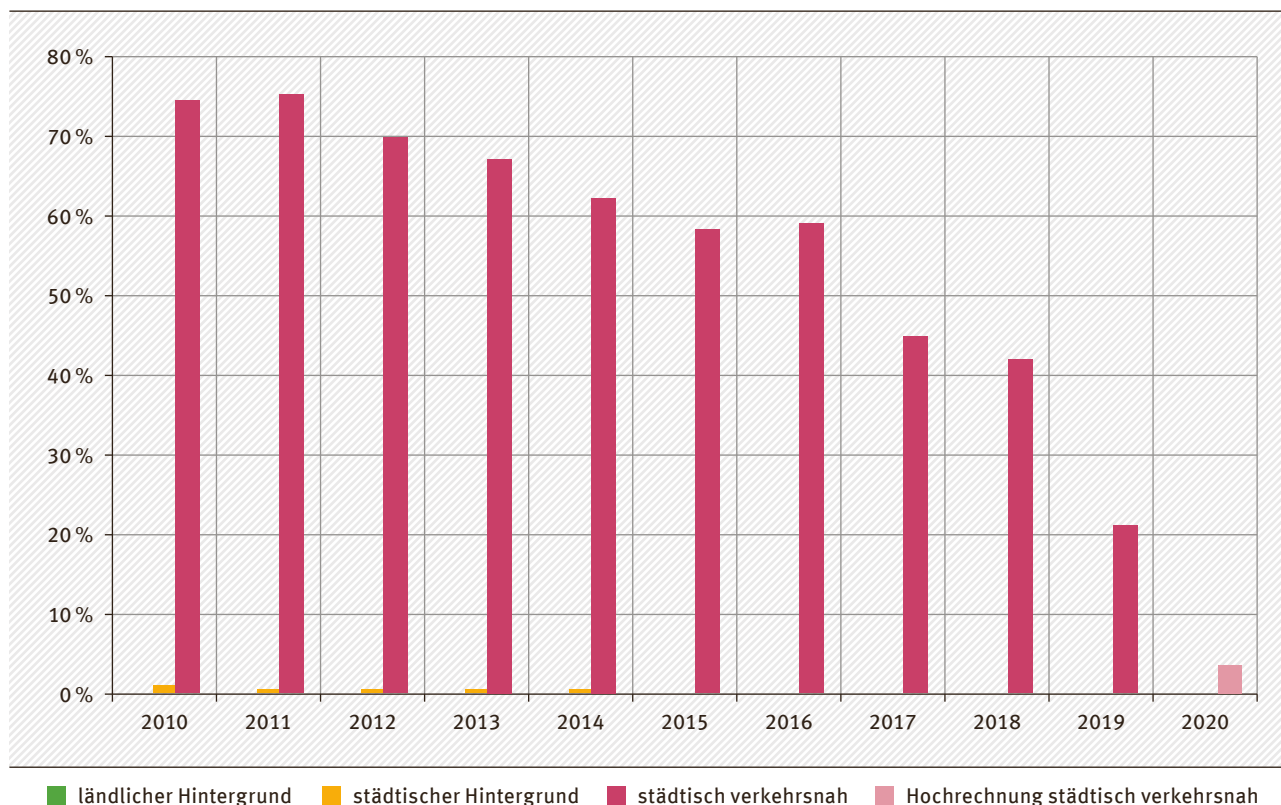
WHO-Empfehlung

Die Empfehlung der WHO entspricht dem EU-Grenzwert.

Die Stickstoffdioxidbelastung zeigt im letzten Jahrzehnt einen deutlichen Rückgang, der in den letzten Jahren besonders ausgeprägt ist (Abbildung 8). Um den Einfluss der Schließung alter beziehungsweise Errichtung neuer Messstationen auf die Entwicklung der mittleren Werte zu mindern, werden für diese

Abbildung 7

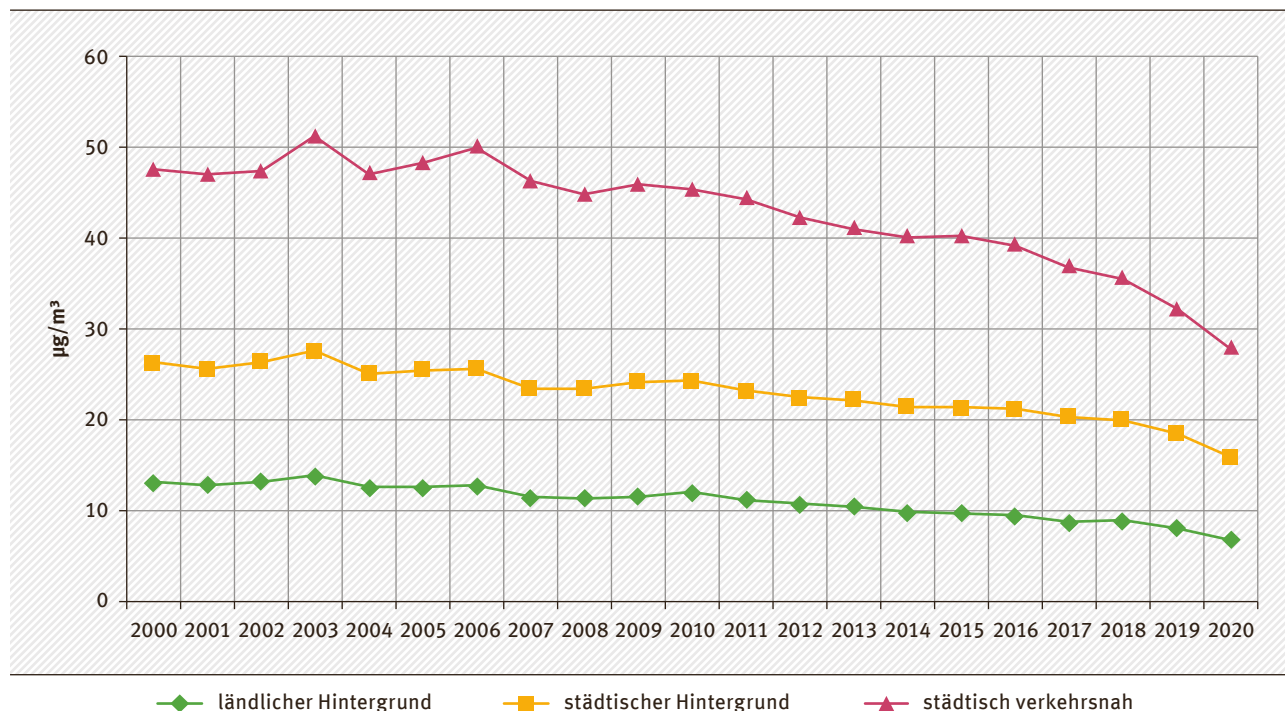
Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das NO₂-Jahresmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010–2020



Quelle: Umweltbundesamt 2021

Abbildung 8

Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2020



Quelle: Umweltbundesamt 2021

Abbildung 8 verwendet nur ausgewählte Stationen, 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 zwischenjährige Schwankungen aufgrund der Witterung auf.

Im ländlichen Bereich, fern der typischen NO₂-Quellen, lagen die Konzentrationen 2000–2020 im Jahresmittel auf einem Niveau um 10 µg/m³ (Abbildung 8, 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 8, gelbe Kurve). Im Jahr 2020 – wie auch schon im Vorjahr – lag die mittlere NO₂-Konzentration an verkehrsnahen Messstationen (rote Kurve) im Jahresmittel deutlich unter 40 µg/m³. Damit setzt sich der kontinuierliche Rückgang der letzten zehn Jahre fort.

Abbildung 9 zeigt die mittleren Jahresgänge von NO₂ in den drei Belastungsregimes innerhalb der letzten fünf Jahre (nur Stationen mit ausreichender

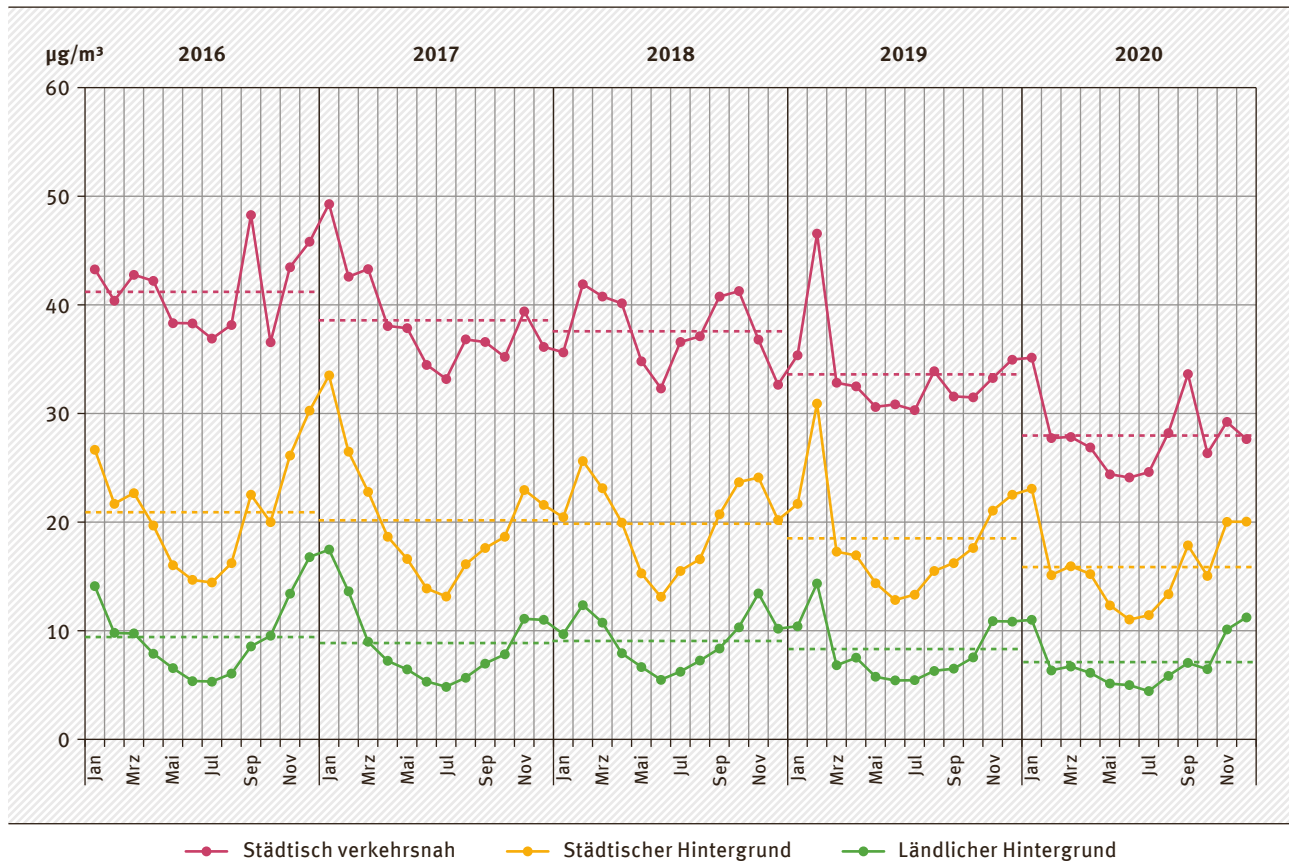
Datenverfügbarkeit in allen 5 Jahren enthalten). Deutlich wird der kontinuierliche Rückgang der Konzentrationen. Das heißt, bis auf wetterbedingte Schwankungen, die vor allem im Hintergrund typischerweise zu höheren Konzentrationen im Winter und niedrigeren im Sommer führen, liegen die Monatsmittelwerte in jedem Jahr meist unter dem des Vorjahres. Somit ergibt sich ein stetiger Rückgang der mittleren Belastung in allen Regimen (gestrichelte Linie). Warum sich der Lockdown im März und April 2020 nicht direkt in Abbildung 9 widerspiegelt, wird im Sonderkapitel dieses Berichts ab Seite 20 erläutert.

In den letzten Jahren wurden an einem Großteil der verkehrsnahen Stationen Werte oberhalb von 40 µg/m³ im Jahresmittel verzeichnet und damit der Grenzwert überschritten. Das hat sich mittlerweile geändert: nur noch einige wenige Stationen weisen Jahresmittelwerte oberhalb von 40 µg/m³ aus. Abbildung 10 zeigt anhand der Balken die Jahresmittelwerte 2020 aller verkehrsnahen Stationen der Höhe nach sortiert. Die Lücken ergeben sich aus den Stationen mit Passivsammlern, deren Daten erst im Laufe des Jahres 2021 vorliegen, hier aber der Vollständigkeit halber anhand der Daten des Vorjahres eingeordnet

Abbildung 9

Mittlere NO₂-Monatsmittelwerte 2016–2020

Mittelwert über das Gesamtjahr gestrichelt



Quelle: Umweltbundesamt 2021

wurden. Die rosa Kurve ergibt sich aus den ebenfalls absteigend sortierten Jahresmittelwerten des Vorjahres. Daraus wird ersichtlich, dass die verkehrsnahen NO₂-Belastung nicht nur im hochbelasteten Bereich des Grenzwertes, sondern auch im mittleren und niedrigen Konzentrationsbereich deutlich abgenommen hat.

2 NO₂-Stundenmittelwerte

NO₂-Stundenmittelwerte über 200 µg/m³ sind seit 2010 höchstens 18-mal im Jahr zulässig. Im Jahr 2020 wurde dieser Grenzwert wie in den Vorjahren nicht überschritten. Zuletzt kam es 2016 zu vereinzelten Grenzwertüberschreitungen im verkehrsnahen Bereich.

An nur einer von ca. 400 Stationen wurde der WHO-Empfehlung 2020 nicht entsprochen.

EU-Grenzwert

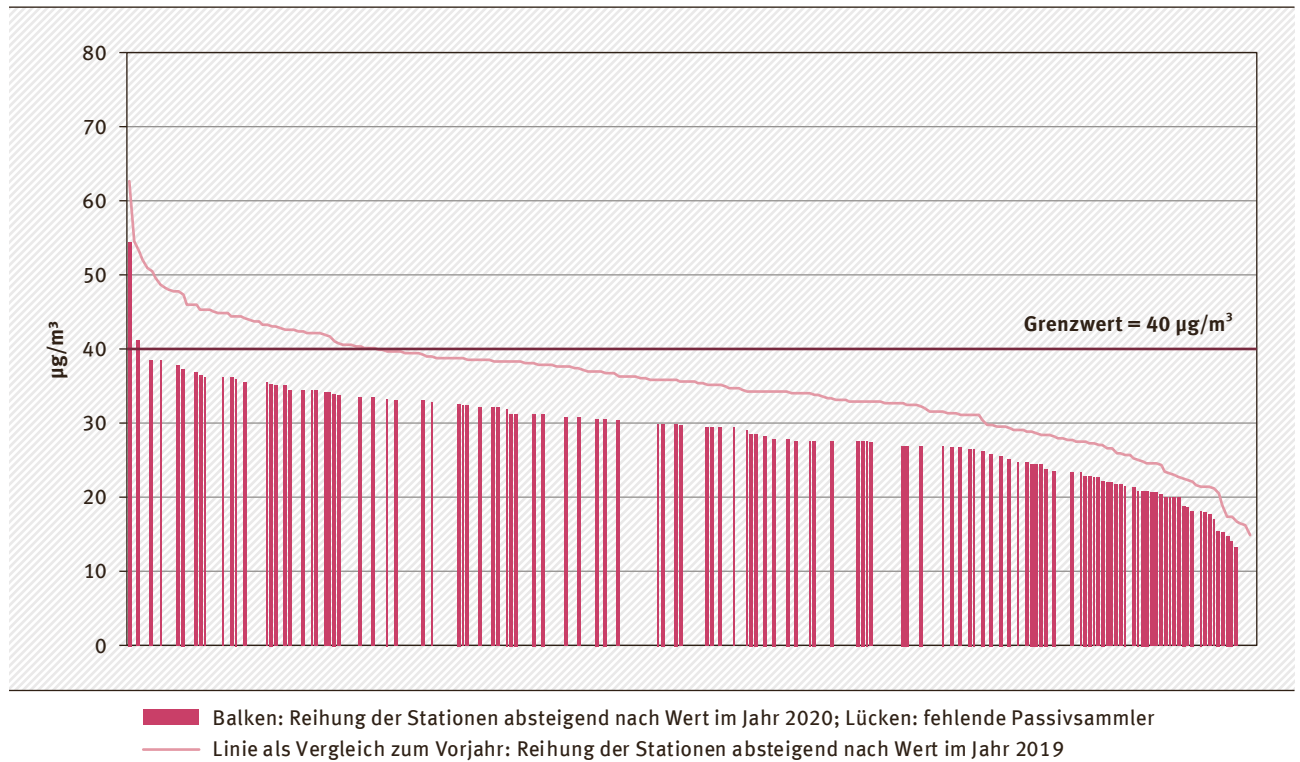
Die NO₂-Stundenmittelwerte dürfen nicht mehr als 18-mal pro Jahr über 200 µg/m³ liegen.

WHO-Empfehlung

Die NO₂-Stundenmittelwerte sollten den Wert von 200 µg/m³ gar nicht überschreiten.

Abbildung 10

NO₂-Jahresmittelwerte 2020 aller verkehrsnaher Messstationen



Quelle: Umweltbundesamt 2021

IV Bodennahes Ozon: Geringere Belastung als in den beiden Vorjahren

1 O₃ – Informations- und Alarmschwelle

Ozon wird in Deutschland an ungefähr 260 Stationen gemessen. Der höchste 1-Stunden-Mittelwert im Jahr 2020 betrug 235 µg/m³. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Vorjahreswert (314 µg/m³). Im Jahr 2020 wurde der Alarmschwellenwert von 240 µg/m³ nicht überschritten. Zu Überschreitungen der Informationsschwelle von 180 µg/m³ kam es an 13 Tagen. Im Vergleich zu den letzten 20 Jahren ist 2020 ein wenig von Schwellenwertüberschreitungen betroffenes Jahr, siehe Abbildung 11.

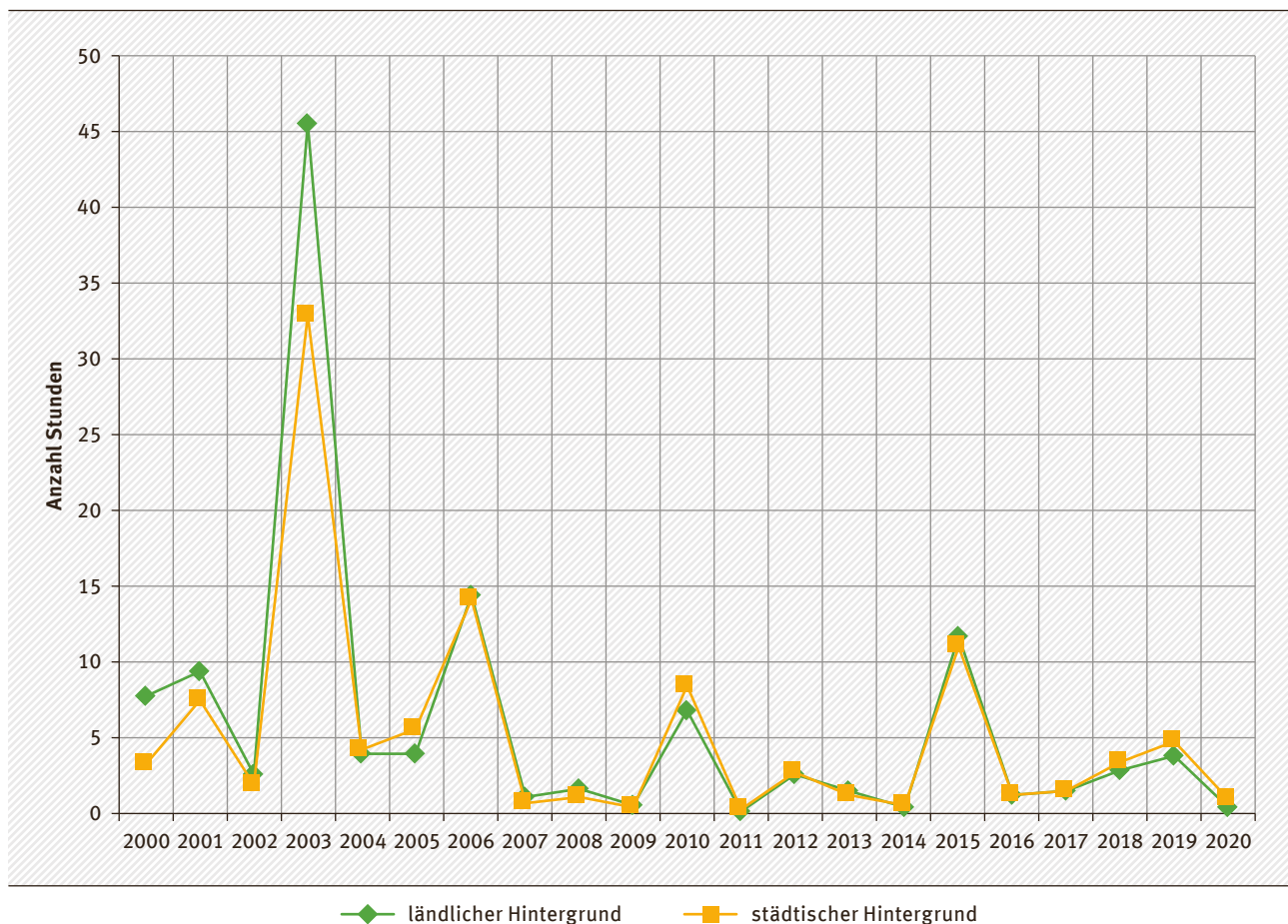
Daraus wird auch deutlich, dass die Überschreitungen der Informationsschwelle von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich oft auftreten. So ragt beispielsweise

der „Jahrhundertsummer“ 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 anrei-

Abbildung 11

Überschreitungsstunden der Informationsschwelle (180 µg/m³) Mittelwert über ausgewählte Stationen, Zeitraum 2000–2020



Quelle: Umweltbundesamt 2021

chern und dort zu erhöhten Werten führen. Nachdem bereits im April erste Sommertage registriert wurden, zeigten sich Juni und Juli recht wechselhaft. Erst im August gab es eine langanhaltende Hitzewelle mit Höchstwerten über 35 °C. Der Sommer war insgesamt zu warm und zu trocken und das Jahr 2020 war nach dem Jahr 2018 das zweitwärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1881.⁵

2 O₃ – Zielwert und Langfristziel zum Schutz der menschlichen Gesundheit

An nahezu allen Stationen (= 100 %) wurde der Wert von 120 µg/m³ als 8-Stunden-Mittelwert überschritten, d. h. das langfristige Ziel wurde, genau wie in den Vorjahren, nicht eingehalten.

An durchschnittlich 17 Tagen pro Station überschritt im Jahr 2020 der höchste 8-Stunden-Mittelwert eines Tages den Wert von 120 µg/m³, das ist im hier betrachteten Zeitraum ab 2000 leicht überdurchschnittlich. Im Vorjahr traten im Mittel über alle Stationen an 24 Tagen Überschreitungen auf.

Abbildung 12 zeigt die räumliche Verteilung der Überschreitungstage im Jahr 2020 im Vergleich zu den letzten fünf Jahren auf. Dabei werden die Schwankungen zwischen den Jahren deutlich: Im Jahr 2020 ist vor allem der Südwesten und Westen Deutschlands mehr von Überschreitungen des Langfristziels betroffen, insgesamt ist die Belastung in Deutschland aber geringer als im Vorjahr. Norddeutschland ist generell etwas weniger von hohen Ozonkonzentrationen betroffen, was besonders im Jahr 2015 auffällt.

Die Empfehlung der WHO, 100 µg/m³ im 8-Stundenmittel nicht zu überschreiten, wurde nahezu deutschlandweit verfehlt.

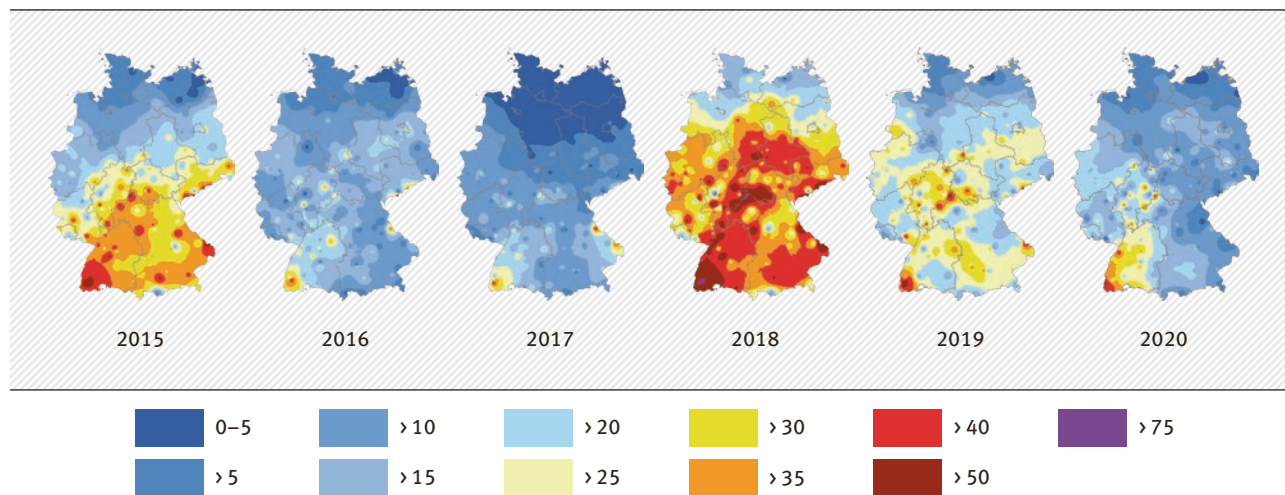
Für den Zielwert zum Schutz der Gesundheit wird ein 3-Jahres-Zeitraum betrachtet: Im Mittel darf nur an 25 Tagen der Wert von 120 µg/m³ im 8-Stundenmittel überschritten werden. Im letzten Mittelungszeitraum von 2018 bis 2020 überschritten 48 Prozent aller Stationen diesen Wert an mehr als 25 Tagen, das ist etwas mehr als im Vorjahreszeitraum (42 Prozent). Abbildung 13 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 sehr viel niedriger. Deswegen wird an verkehrsnahen Stationen Ozon selten gemessen.

⁵ Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20200831_deutschlandwetter_sommer2020.html?nn=714786

Abbildung 12

Räumliche Verteilung der Überschreitungstage des Langfristziels zum Schutz der Gesundheit (Zahl der Tage mit maximalen 8-Stundenmittelwerten > 120 µg/m³)

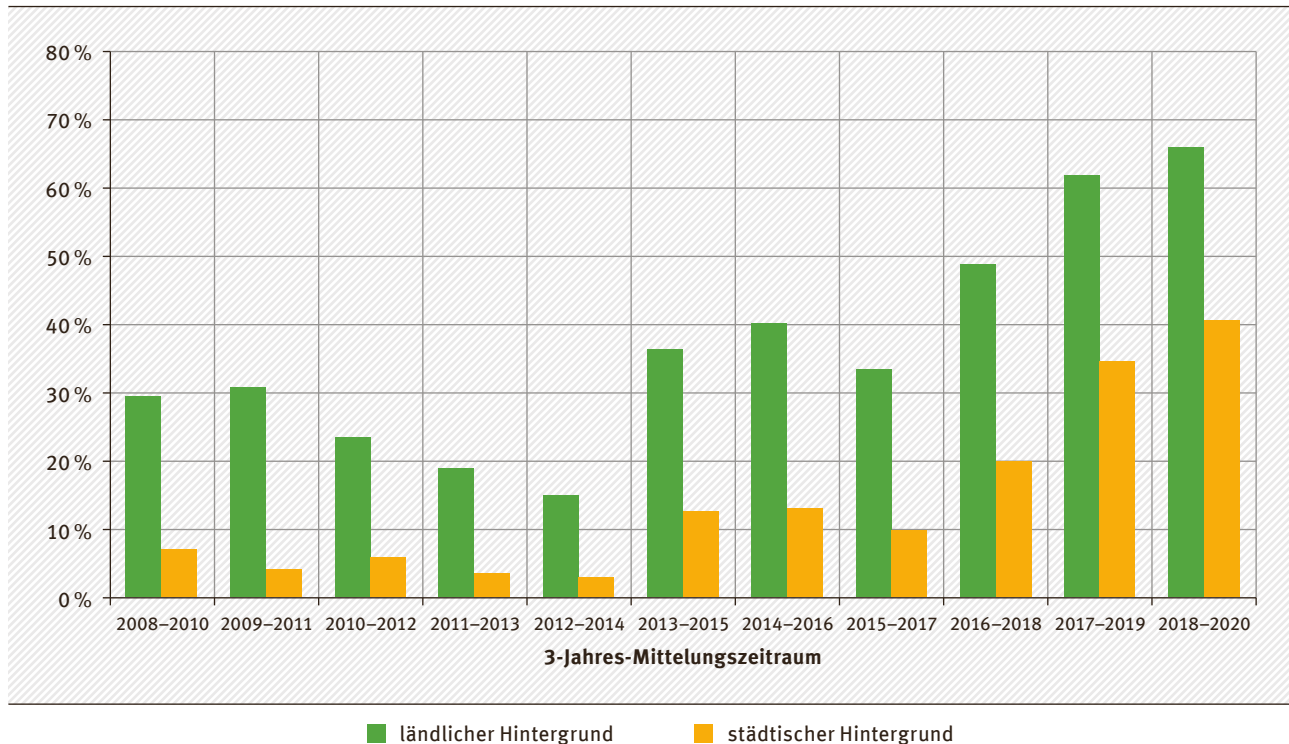
Zeitraum 2015 bis 2020, erstellt aus Stationsmesswerten und geostatistischem Interpolationsverfahren



Quelle: Umweltbundesamt 2021

Abbildung 13

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes
für den Schutz der Gesundheit, Zeitraum 2010 bis 2020 (jeweils gleitendes Mittel über 3 Jahre basierend auf den Kalenderjahren)



Quelle: Umweltbundesamt 2021

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 ($18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ summiert von Mai bis Juli) wurde für den letzten Mittelungszeitraum von 2016 bis 2020 an 32 von 161 Stationen (= 20 %, Vorjahr: 31 %) überschritten.

Im Jahr 2020 wurde das langfristige Ziel für den Schutz der Vegetation ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) an immerhin 23 Stationen eingehalten, das entspricht 15 % aller Stationen. In den letzten beiden Jahren überschritten nahezu alle Stationen dieses Ziel. Im Mittel liegt der

AOT40-Wert an den ländlichen Hintergrundstationen dieses Jahr auf einem sehr niedrigen Niveau im Vergleich zu den anderen Jahren ab 2000, und deutlich unter den hohen Werten der Vorjahre 2018 und 2019.

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.

Informationsschwelle

Bei Ozonwerten über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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 $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (höchster täglicher 8-Stundenmittelwert) dürfen an höchstens 25 Tagen im Kalenderjahr auftreten, gemittelt über 3 Jahre. Langfristig sollen die 8-Stundenmittelwerte $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gar nicht mehr überschreiten.

WHO-Empfehlung

Die 8-Stundenmittelwerte sollen $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten.

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 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 ppb) und dem Wert $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ – das sind 9.000 ppb h beziehungsweise 9 ppm h – nicht überschreiten. Langfristig soll der Wert in einem Jahr höchstens $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ – das sind 3.000 ppb h beziehungsweise 3 ppm h – erreichen.



Das Messfeld der UBA-Station Schauinsland im Januar 2021. Für die Mitarbeiter der ca. 1200 m hoch im Schwarzwald gelegenen Messstelle kommt bei solch winterlichen Bedingungen zusätzlicher Aufwand durch das Freihalten der Geräte von Eis und Schnee hinzu.

V Luftqualität während des Frühjahr-Lockdowns

1 Einleitung

Weniger Verkehr, weniger Produktion, weniger Schadstoffe: Durch die Corona-Krise nehmen Umweltbelastungen ab. Bezogen auf das Medium Luft wird dies anhand von Satellitenmessungen besonders eindrücklich sichtbar. Satellitendaten aus dem Frühjahr 2020 zeigen, dass sich die Schadstoffbelastung innerhalb der Atmosphäre in vielen Ländern der Erde verringert hat.

Abb. 14 zeigt, dass weite Teile Europas, vor allem Hotspots wie die Poebene, Madrid, Paris, Mailand und Rom, während der Monate des Lockdowns im Vergleich zum Vorjahr einen Rückgang des troposphärischen Stickstoffdioxids (NO_2) aufwiesen. Dieser betrug vielerorts mehr als 40 Prozent (DLR2020). Allerdings erfasst der Satellit die gesamte Schadstoffmenge zwischen dem Boden und dem Messinstrument. Die Schadstoffkonzentration variiert in dieser „Säule“ aber stark und nimmt gewöhnlich mit zunehmender Höhe ab. Ein Rückschluss auf die Luftqualität am Boden, also dort wo Menschen die Luft einatmen, ist daher nicht ohne weiteres möglich.

In Deutschland traten im März 2020 bundes- und landesweite Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie in Kraft. Kindergärten und Schulen wurden geschlossen, die Menschen arbeiteten verstärkt von zu Hause. Ab dem 23. März 2020 galten

Welche Effekte haben Einfluss auf die Luftqualität am Boden?

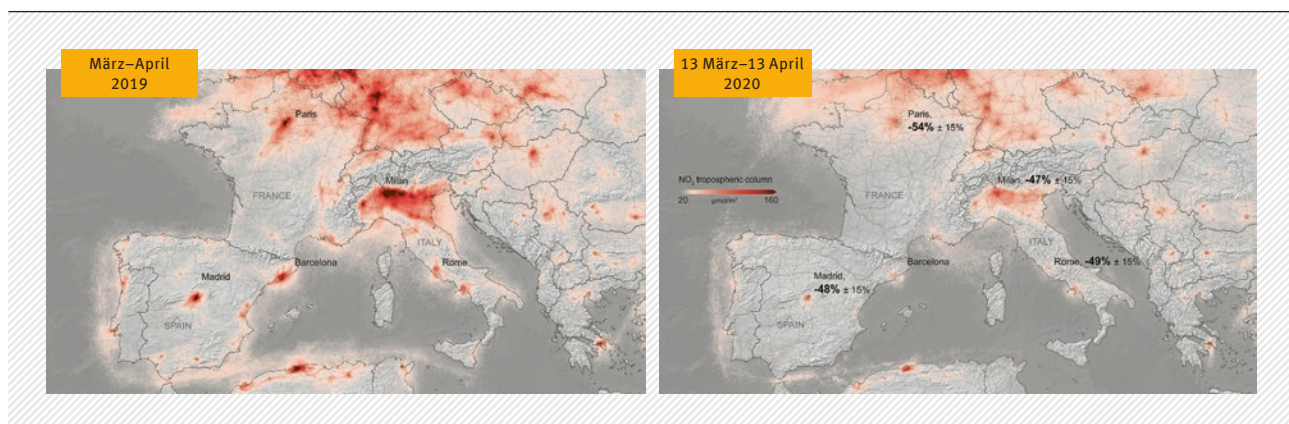
Die Konzentration eines Luftschadstoffes ergibt sich aus dem Zusammenspiel verschiedener Prozesse. Wichtige Einflussfaktoren für die Luftschadstoffkonzentration an einem Ort sind

- ▶ lokale Emissionen: Freisetzung von Luftschadstoffen und Vorläuferstoffen in die Atmosphäre
- ▶ Transmission: horizontaler Transport und vertikale Durchmischung von Luftschadstoffen in der Atmosphäre
- ▶ Chemische Prozesse: chemische Produktion, Umwandlung und Abbau der Luftschadstoffe
- ▶ Deposition: Entfernungsprozesse von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre durch Ablagerung am Boden
- ▶ Hintergrundkonzentration: Grundbelastung an einem Ort ohne unmittelbare Nähe zu Emissionsquellen (u. a. aus grenzüberschreitendem Transport)
- ▶ vorherrschende Wetterbedingungen
- ▶ klein- und großräumige Lage der Messstation

bundesweit weitreichende Kontaktverbote, aufgrund derer das Haus nur noch aus triftigem Grund verlassen werden durfte. Folgende Einschränkungen des

Abbildung 14

Vergleich der NO_2 -Belastung der gesamten Luftsäule in Europa zwischen März/April 2019 und 2020



Quelle: <https://www.dlr.de/content/de/bilder/2020/02/earth-day-stickstoff-konzentration.html>

öffentlichen Lebens haben während dieser Zeit zu einem deutlichen Rückgang von Mobilität/Straßenverkehr geführt:

- ▶ Der Aufenthalt im öffentlichen Raum war nur alleine, mit einer weiteren nicht im Haushalt lebenden Person oder im Kreis der Angehörigen des eigenen Hausstands gestattet;
- ▶ Schließung von Gastronomiebetrieben, Kultur- und Freizeiteinrichtungen, Dienstleistungsbetrieben im Bereich der Körperpflege;
- ▶ Schließungen des Einzelhandels, der nicht für den täglichen Bedarf notwendig ist;
- ▶ Verbot von Veranstaltungen, Versammlungen, Gottesdiensten, etc.

Mit Blick auf die Dauer der oben genannten Einschränkungen werden in den nachfolgenden Auswertungen folgende Mittelungszeiträume der Luftqualitätsdaten betrachtet (s. Tab. 1):

Tabelle 1

Mittelungszeiträume nach Kalenderwochen und entsprechende Zeiträume mit Datum

Mittelungszeitraum	entspricht Zeitraum
KW1–KW4	30.12.2019–26.01.2020
KW5–KW8	27.01.2020–23.02.2020
KW9–KW12	24.02.2020–22.03.2020
*KW13–KW16	23.03.2020–19.04.2020
KW17–KW20	20.04.2020–17.05.2020
KW21–KW24	18.05.2020–14.06.2020
KW25–KW28	15.06.2020–12.07.2020
KW29–KW32	13.07.2020–09.08.2020
KW33–KW36	10.08.2020–06.09.2020
KW37–KW40	07.09.2020–04.10.2020
KW41–KW44	05.10.2020–01.11.2020
KW45–KW48	02.11.2020–29.11.2020
KW49–KW52	30.11.2020–27.12.2020

Der am stärksten von den Lockdown-Maßnahmen beeinträchtigte Zeitraum fiel in die Kalenderwochen 13 bis 16 (23. März bis 19. April).

Veränderungen des Straßenverkehrs während der Lockdown-Phase

Anhand von Auswertungen der Bundesländer lässt sich die Verringerung des Straßenverkehrs während des Lockdowns wie folgt quantifizieren:

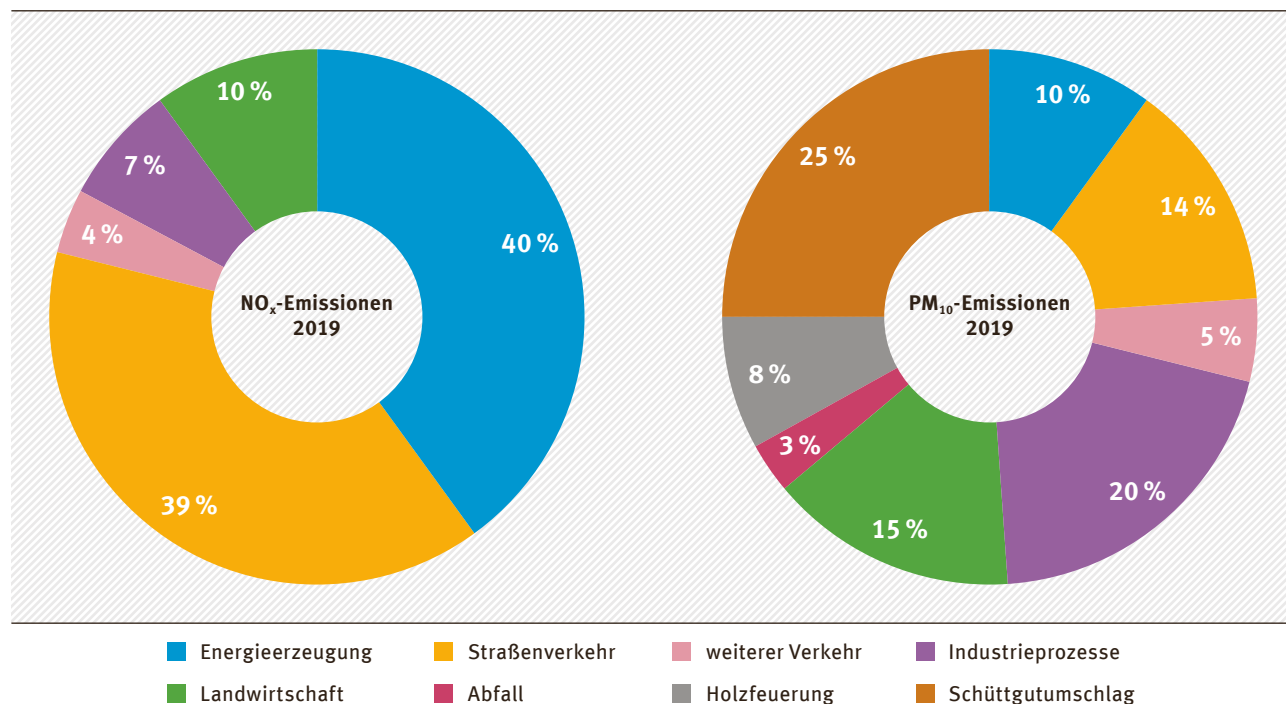
In Berlin sank die Zahl der als Pkw und kleine Lkw identifizierten Fahrzeuge um 20–30 Prozent, das Aufkommen an mittleren und großen Lkw blieb in etwa gleich. Nach grober Schätzung sank der Stickoxidausstoß wegen des beobachteten Verkehrsrückgangs bei Pkw und kleinen Lkw um etwa 15–20 Prozent (BE2020). Messungen des Verkehrsaufkommens an drei hessischen Standorten zeigten, dass die Verkehrszahlen im Mittel um circa 30 bis 40 Prozent zurückgegangen sind, wobei die prozentuale Verkehrsminderung an den Wochenenden stärker ausfällt als unter der Woche (HE2020). Die täglichen Verkehrsmengen auf dem Heiligengeistwall im niedersächsischen Oldenburg zeigten eine deutliche Abnahme der gesamten Verkehrsmenge (40–50 Prozent), am deutlichsten bei den Pkw, aber auch die Zahl von Kleintransportern, LKW und Bussen nahm ab (NI2020). Nach Abschätzungen aus Nordrhein-Westfalen hat der Straßenverkehr um bis zu 30 bis 50 Prozent abgenommen (NW2020). Die Zählstelle Mommsenstraße/Bergstraße in Dresden registrierte einen Rückgang des gesamten Verkehrs um 42 Prozent, des PKW-Verkehrs um 44 Prozent und des Lieferverkehrs um 25 Prozent (SN2020).

Diese exemplarischen Daten zeigen, dass der Verkehr durch den Lockdown deutlich reduziert war, jedoch nicht komplett zum Erliegen kam. Busse im ÖPNV und private Pkw waren nach wie vor in den Städten unterwegs. Für den Lieferverkehr muss sogar von einem zeitweise erhöhten Aufkommen ausgegangen werden. Auch ist davon auszugehen, dass aus Ansteckungsgründen vielfach der ÖPNV vermieden und verstärkt Pkw genutzt wurden. Zudem sind weitere Emissionseffekte denkbar, z. B. bedingt durch verstärktes Arbeiten im Home-Office.

Schadstoffe im Fokus

Der Straßenverkehr und die Energieerzeugung sind die Hauptquellen der Stickstoffdioxid-Belastung (s. Abb. 15, links). In Ballungsräumen und Städten werden die höchsten NO₂-Konzentrationen daher typischerweise an viel befahrenen Straßen gemessen. Es war daher zu erwarten, dass sich die verringerten

Abbildung 15

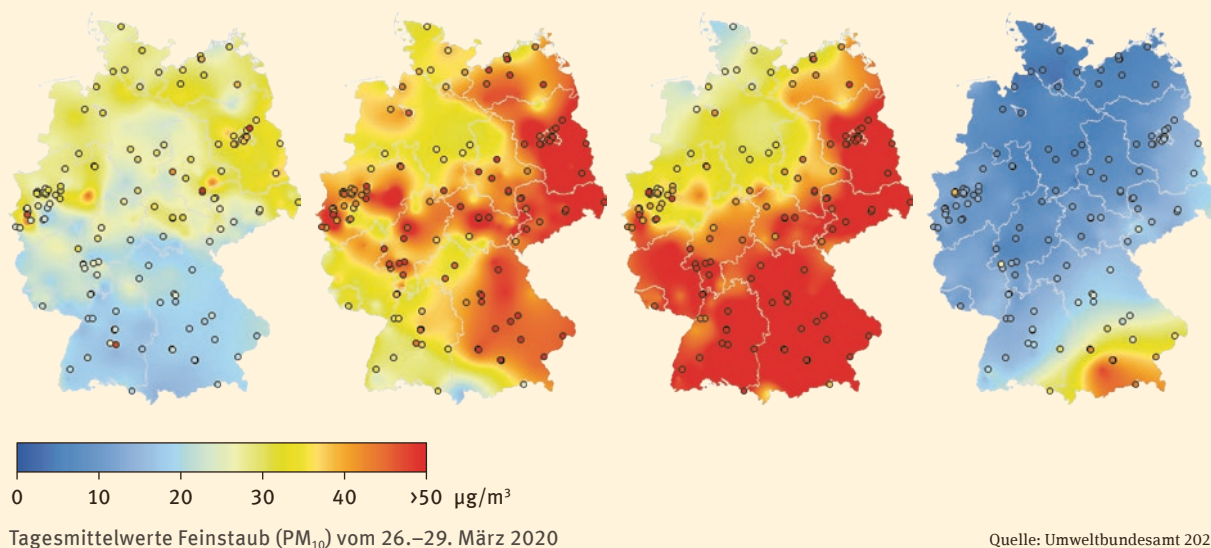
Zusammensetzung deutscher NO_x - und PM_{10} -Emissionen für das Jahr 2019.

Quelle: Umweltbundesamt 2021

Exkurs Feinstaub (PM_{10})

Auch wenn die alltägliche Feinstaubbelastung meist durch lokale und regionale Feinstaubquellen bestimmt wird, spielen hier anders als bei NO_2 auch atmosphärische Transportprozesse über teilweise große Strecken eine wichtige Rolle. Zu solch einem Transportprozess kam es Ende März 2020, als Saharastaub aus Nordafrika bis nach Deutschland gelangte: Für diesen Zeitraum weist der DWD Tage mit hohem

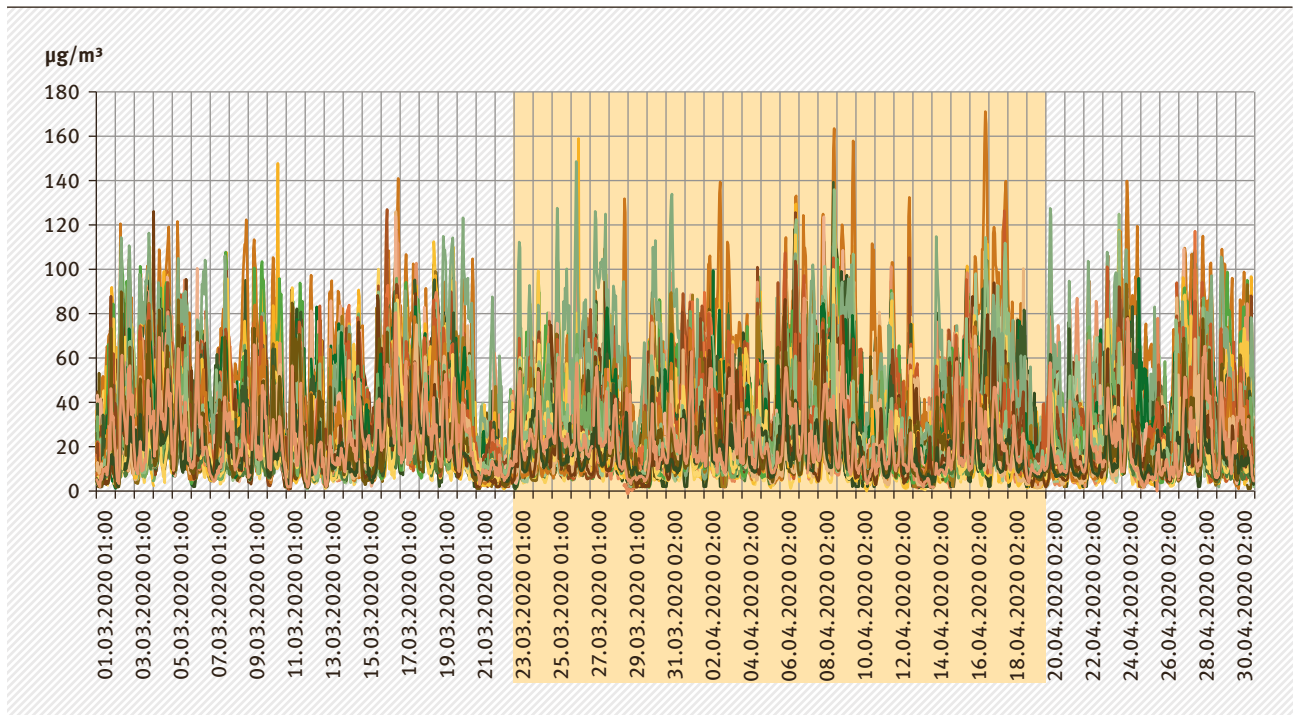
Saharastaub-Index⁶ aus. Auch die flächenhaften PM_{10} -Karten veranschaulichen, dass dieser Ferntransport hier in Deutschland zu erhöhten PM_{10} -Werten geführt hat und dies mitten im Zeitraum des Lockdowns. Dieses Beispiel zeigt, wie eventuelle Lockdown-bedingte PM_{10} -Rückgänge stärker noch als bei NO_2 von atmosphärischen Einflüssen überkompensiert werden können.



⁶ Saharastaub-Index des DWD, Quelle: https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung_atmosphaere/aerosol/inh_nav/saharastaubindex_node.html

Abbildung 16

Stündliche NO₂-Verläufe im März und April 2020 für alle verkehrsnahen Stationen. Lockdown-Zeitraum markiert



Quelle: Umweltbundesamt 2021

Verkehrszahlen im Corona-Lockdown des Frühjahres auf die Belastung mit Stickstoffdioxid ausgewirkt haben.

Beim Feinstaub hat der Straßenverkehr dagegen einen wesentlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen in Deutschland (s. Abb. 15, rechts). Insbesondere im Frühjahr kommt mit der Landwirtschaft eine weitere bedeutende Emissionsquelle hinzu: Bei der Düngung der Felder wird aus gasförmigen Vorläuferstoffen Feinstaub gebildet, der mit dem Wind auch in die Städte transportiert wird. Zudem kann Feinstaub auch natürlichen Ursprungs sein – beispielsweise Saharastaub oder als Folge von Bodenerosion, Wald- und Buschfeuern – und kann über weite Entfernungen nach Deutschland herantransportiert werden. Kurzzeitige Verringerungen nur einzelner Feinstaub-Quellen – wie durch den Lockdown – können daher keine durchschlagende Konzentrationsverringerung erwarten lassen. Der Beitrag anderer Feinstaubquellen kann sogar soweit an Bedeutung gewinnen, dass trotz verringerten Verkehrsaufkommens erhöhte Feinstaubkonzentrationen auftreten können (siehe Box „Exkurs

Feinstaub“). In den nachfolgenden Auswertungen der Konzentrationsdaten wird Feinstaub daher nicht weiter betrachtet, sondern der Fokus auf NO₂ gelegt.

2 NO₂-Situation während des Frühjahr-Lockdowns

Konzentrationsverläufe (01.03. bis 30.04.2020)

Abb. 16 zeigt den stündlichen Verlauf der NO₂-Konzentrationen an allen verkehrsnahen Messstationen für die Monate März und April 2020. Auf den ersten Blick ist – entgegen den Erwartungen aufgrund der verringerten Verkehrszahlen – kein Rückgang der Konzentrationen während des markierten Lockdown-Zeitraumes erkennbar.

Mittlere Tagesgänge

Bei näherer Betrachtung weisen die mittleren Tagesgänge (s. Abb. 17 oben) über alle verkehrsnahen Stationen in ganz Deutschland allerdings zwei Besonderheiten auf:

- ▶ Während des Lockdowns im Frühjahr waren die Konzentrationen in den frühen Morgenstunden im Mittel überdurchschnittlich hoch.

- Die mittlere Belastung in den Nachmittagsstunden (13–18 Uhr) lag niedriger als im gesamten restlichen Jahr.

Dass diese Effekte regional und lokal unterschiedlich stark ausgeprägt sind, zeigen die mittleren verkehrsnahen Tagesgänge pro Bundesland (Abb. 17 unten). Besonders in Berlin, Bayern, Niedersachsen und Sachsen lag die nachmittägliche Belastung während des Lockdowns deutlich unter dem Schnitt des Jahres 2020. Denkbare Ursachen für dieses heterogene Bild liegen in unterschiedlichen Rückgängen der Verkehrszahlen (s. Kap. „Veränderungen des Straßenverkehrs während der Lockdown-Phase“) und unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen in Deutschland während des gesamten Jahres.

Die Auswertung der nachmittäglichen Belastung wochentags für alle deutschen verkehrsnahen Stationen (d. h. Mittelwert 13–18 Uhr, wochentags) ergibt ein deutliches Bild: An 44 Prozent aller verkehrsnahen Stationen war die mittlere nachmittägliche Belastung während des Lockdown-Zeitraums (KW13–KW16; 23.03.2020–19.04.2020) die niedrigste des gesamten Jahres (s. Abb. 18). Knapp 20 Prozent der Stationen registrierten ihre niedrigste nachmittägliche Belastung in den direkt auf den Lockdown folgenden Kalenderwochen (KW17-KW20; 20.04.–17.05), die noch von Schul-/Kitaschließungen geprägt waren.

Meteorologische Bedingungen während der Lockdown-Phase

Die Quantifizierung der Auswirkungen der Corona-Maßnahmen auf die NO_2 -Konzentrationen lässt sich nicht unmittelbar aus den Messdaten ableiten, denn neben den Emissionen haben die meteorologischen Bedingungen einen hohen Einfluss auf die Konzentration der Schadstoffe.

Eine die Ausbreitung von Luftschadstoffen begünstigende Tiefdruckwetterlage mit hauptsächlich westlichen Strömungen, viel Wind und viel Niederschlag prägten den Februar und die ersten Wochen des März 2020. Nahezu zeitgleich mit dem Lockdown stellte sich die Großwetterlage ab Mitte März um: Es herrschten größtenteils ungünstige Austauschbedingungen aufgrund von Hochdruckwetterlagen mit wenig Wind und geringem vertikalen Luftaustausch. Dies führte im Zeitraum des Lockdowns dazu, dass vielerorts der Rückgang der Emissionen durch eine Verringerung des Straßenverkehrs durch meteorologische Einflüsse

kompensiert wurde, wobei der Effekt zeitlich und räumlich unterschiedlich stark auftrat. Ein unmittelbarer Schluss von einer Emissionsminderung auf eine Konzentrationsminderung ist erst nach einer „Wetterbereinigung“ zulässig. „Wetterbereinigt“ bedeutet, dass die meteorologischen Effekte aus den Konzentrationsänderungen herausgerechnet werden. Hierfür kommen u. a. folgende Ansätze zum Einsatz:

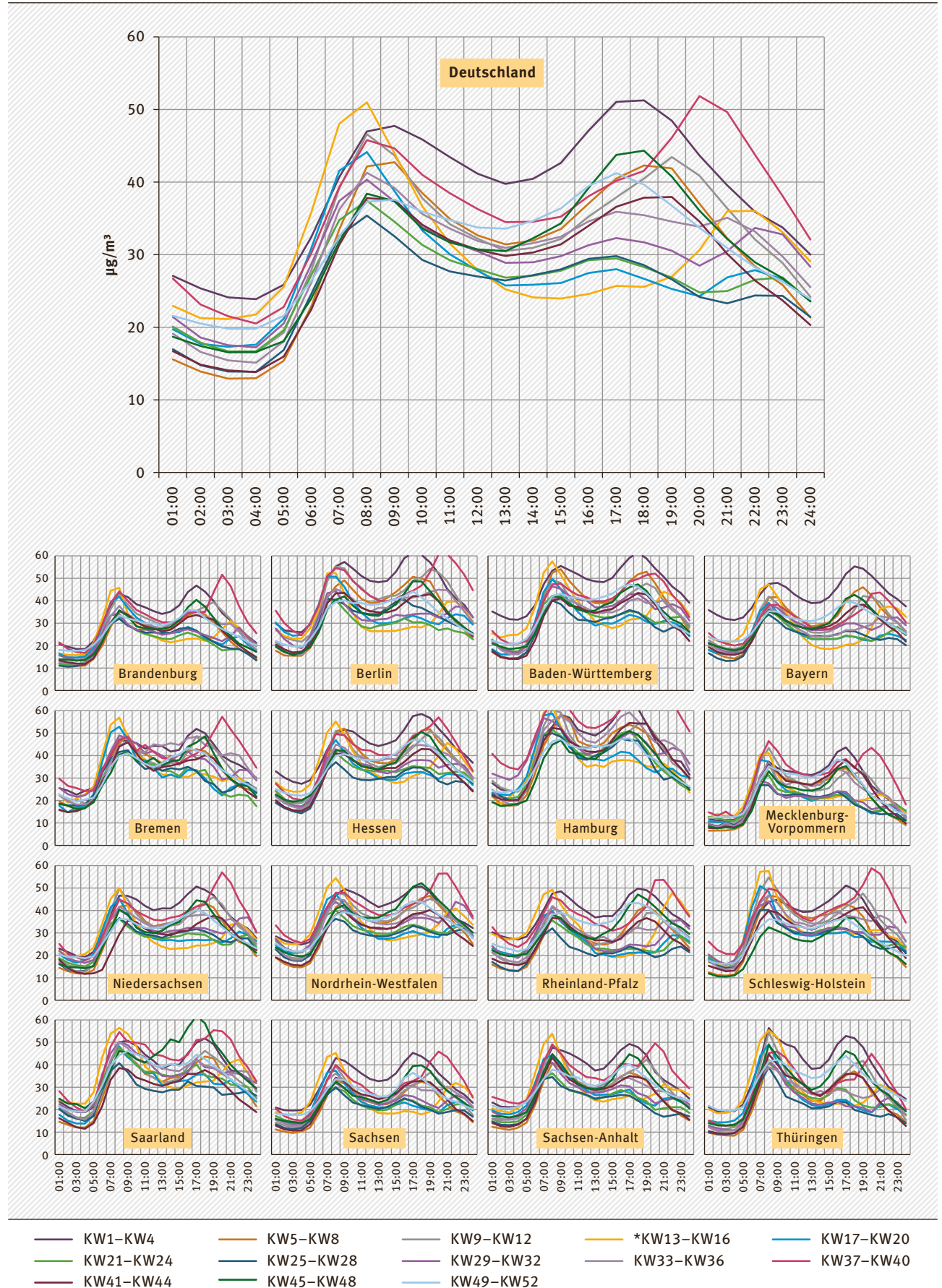
- Differenzbildung von Daten verkehrsnaher und städtischer Hintergrundstationen mit weitestgehend gleichen Wetterbedingungen,
- Vergleich zeitlich versetzter Stationsdaten, die unter ähnlichen meteorologischen Bedingungen gemessen wurden,
- Nutzung des statistischen Zusammenhangs zwischen Wetter und Konzentration,
- Modellierung von Konzentrationsdaten mit Chemie-Transport-Modellen.

Auswertungen der Bundesländer

Die Überwachung der Luftqualität zum Schutz der menschlichen Gesundheit obliegt in Deutschland der Landesebene, d. h. 99 Prozent der deutschen Messstationen werden von den Landesumweltverwaltungen betrieben. Diese haben detaillierte Kenntnis über die Gegebenheiten vor Ort und können Konzentrationsverläufe einzelner Stationen beurteilen und interpretieren. Bei der Auswertung der Länder kamen verschiedene Ansätze zum Einsatz.

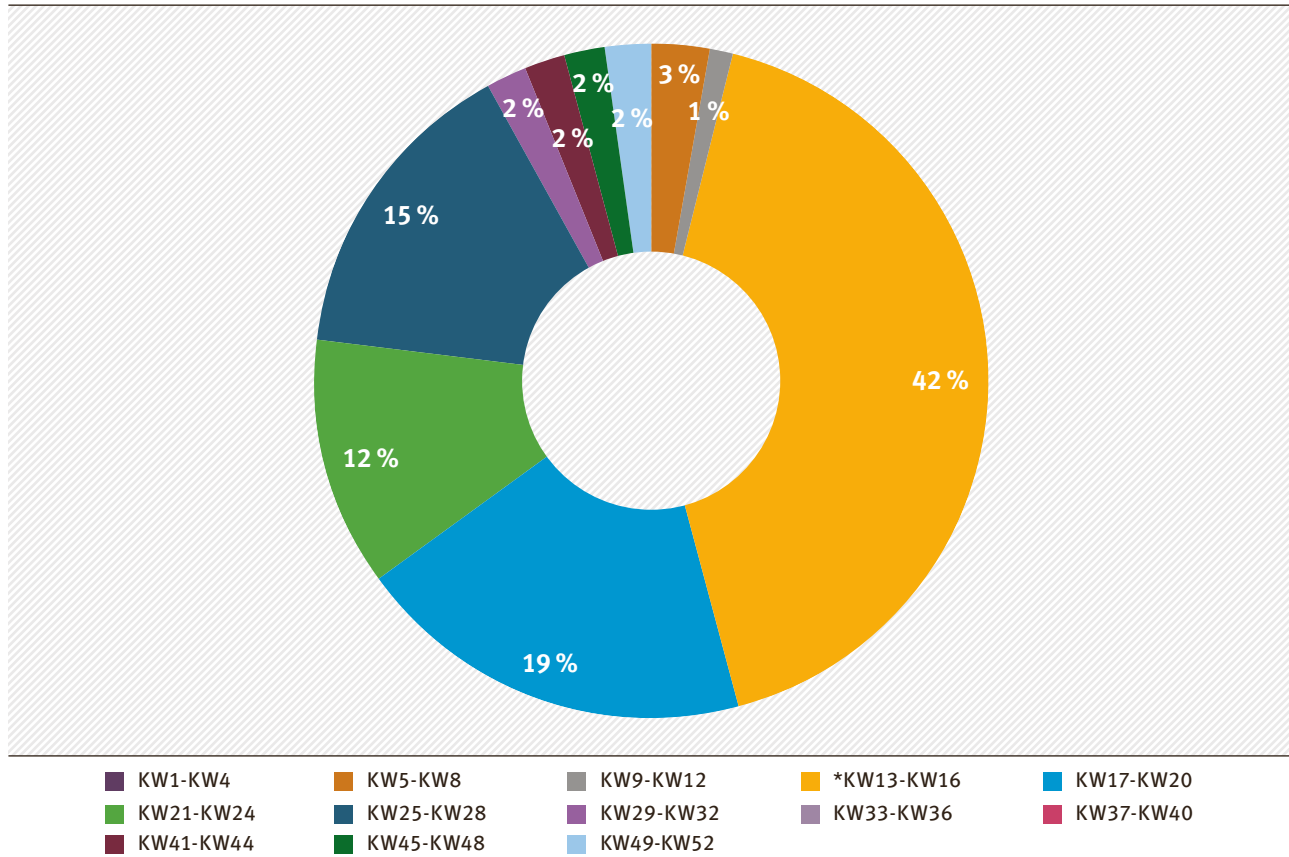
- Berlin berechnete mit Hilfe der Differenzbildung benachbarter Stationen, dass der lokale NO_2 -Anteil, der vom Verkehr stammt, um ca. 15 Prozent sank (BE2020).
- In hessischen Auswertungen wurden im vorhergehenden halben Jahr Tage mit gleichen oder ähnlichen Windströmungen gesucht, wie sie im Lockdown herrschten. Dies führte zu der Einschätzung, dass die NO_2 -Konzentrationen ab dem Lockdown erheblich zurückgingen. Im Mittel über alle verkehrsnahen Messstellen deutete sich ein Rückgang von etwa 35 Prozent an (HE2020).
- Mecklenburg-Vorpommern verglich die NO_2 -Werte des Lockdowns mit denen aus dem identischen Zeitraum in 2019. Im Mittel lagen die Werte der Monate März und April 2020 unterhalb denen des Vorjahres (MV2020).
- Ähnlich vorgegangen wurde in Nordrhein-Westfalen, indem identische Zeiträume im Zeitraum 2015–2019 herangezogen wurden, mit

Abbildung 17

Mittlere verkehrsnahe NO₂-Tagesgänge für Deutschland und alle Bundesländer 2020, Lockdown-Zeitraum in gelb


Quelle: Umweltbundesamt 2021

Abbildung 18

Verteilung des Auftretens der niedrigsten nachmittäglichen NO₂-Belastung (Mo-Fr, 13–18 Uhr) an allen verkehrsnahen Messstationen in Deutschland 2020


Quelle: Umweltbundesamt 2021

dem Ergebnis, dass die NO₂-Konzentrationswerte wochentags deutlich unter denen der Jahr 2015–2019 lagen (NW2020).

- Die Auswertungen der Messstationen in Rheinland-Pfalz zeigen für den Zeitraum März/April 2019 und 2020 bis auf wenige Ausnahmen eine Reduzierung der NO₂-Konzentrationen im Jahr 2020, die zwischen 1–7 µg/m³ liegt und an Verkehrsmessstellen größer ist als an den städtischen und ländlichen Hintergrundstationen (RP2020).
- Niedersächsische Untersuchungen zeigten, dass während des Lockdown-Zeitraums in den Nachtstunden wesentlich niedrigere Temperaturabnahmen mit der Höhe beobachtet wurden, die ein Indiz für eine stärkere Stabilität der Atmosphäre sind. Daraus resultiert eine schlechte Verdünnung der Schadstoffe während der Nachtstunden. Dieser Effekt spiegelt sich in überdurchschnittlich hohen NO₂-Werten während der frühen Morgenstunden wider (s. Abb. 17).

Bei allen Vergleichen mit identischen Vorjahreszeiträumen ist zu beachten, dass hier auch langfristige emissionsmindernde Maßnahmen (z. B. Flottenerneuerung) zu einem Rückgang der Konzentrationswerte geführt haben können. Somit ist die festgestellte Verbesserung der Luftqualität im März und April 2020 auch – aber nicht nur – auf den Corona-Effekt zurückzuführen.

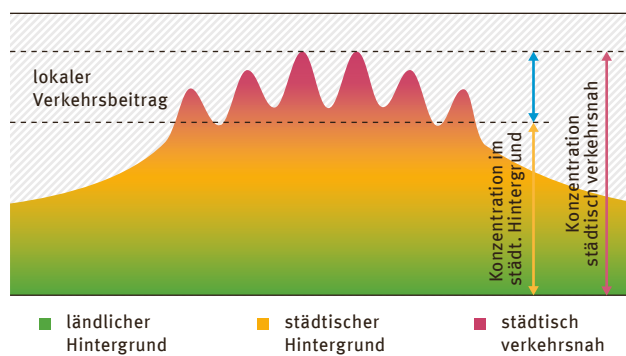
Auswertungen des Umweltbundesamts

Zur Quantifizierung des Corona-Effektes auf die NO₂-Belastung im Frühjahr wurde der Zusammenhang genutzt, dass sich die verkehrsnah Gesamtbelastung aus der Belastung im städtischen Hintergrund (also in typischen städtischen Wohngebieten) plus dem lokalen Verkehrsbeitrag direkt an der Straße zusammensetzt (s. Abb. 19).

Verkehrsnah und Hintergrund-Stationen innerhalb einer Stadt unterliegen gleichen großräumigen Wetterbedingungen, d. h. günstige oder ungünstige

Abbildung 19

Zusammensetzung der städtischen NO₂-Belastung



Quelle: modifiziert nach Lenschow et. al., Some ideas about the sources of PM10, Atmospheric Environment, 35 (2001) S23-S33

Ausbreitungsbedingungen wirken gleichermaßen auf alle Standorte. Eine Betrachtung des lokalen Verkehrsbeitrages zusammen mit der verkehrsnahen Belastung gibt daher Hinweise darauf, ob eine Veränderung der verkehrsnahen Belastung emissions- oder witterungsbedingt ist. Abb. 20 veranschaulicht dies an einem Beispiel: hier zeigen die NO₂-Konzentrationen in einer Stadt jeweils in den Morgen- und

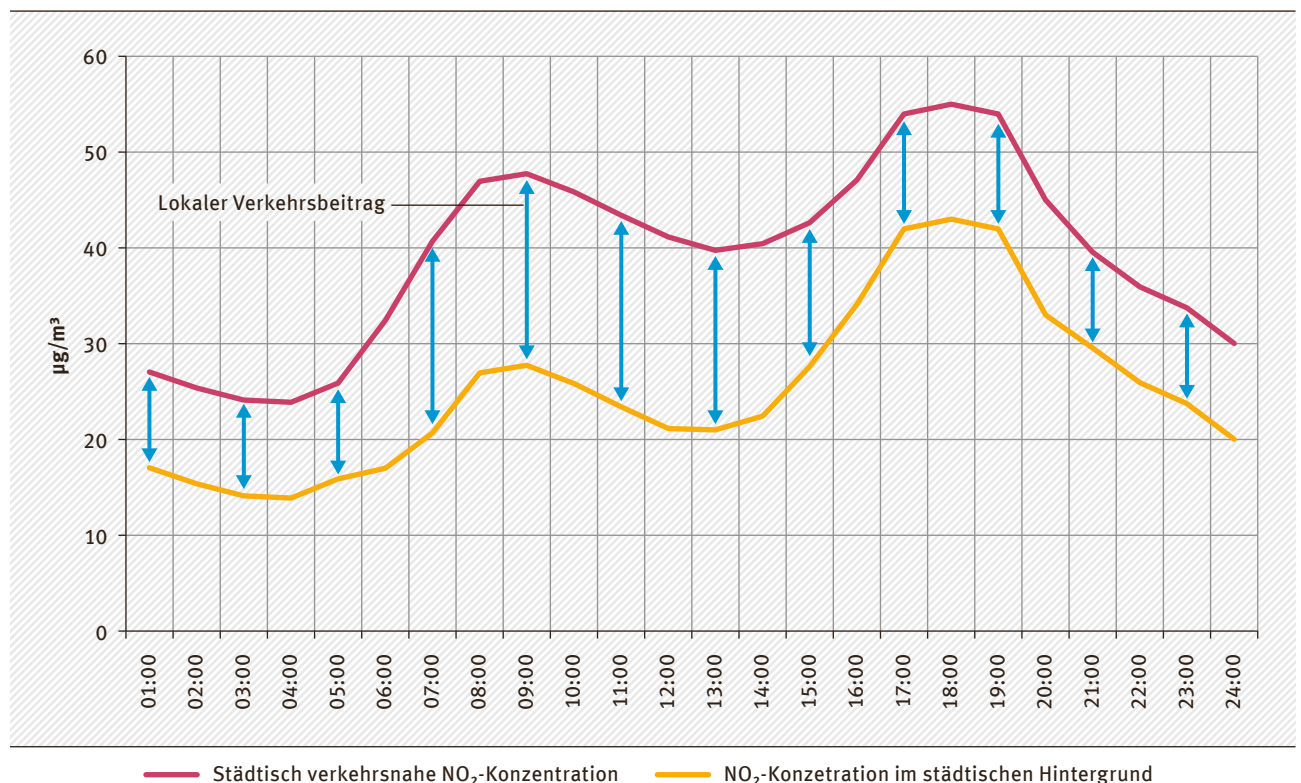
Abendstunden einen Spitzenwert, einhergehend mit dem Berufsverkehr. Die verkehrsnahen Belastung ist in den Abendstunden höher als am Morgen, was aber offensichtlich nicht an einer Zunahme des Verkehrs liegt, da der lokale Verkehrsbeitrag sogar abnimmt. Die abendlichen Spitzenwerte werden demnach durch ungünstigere Ausbreitungsbedingungen verursacht und nicht durch eine Zunahme des Verkehrs.

Zeitreihen des lokalen Verkehrsbeitrages können somit genutzt werden, um Veränderungen der Emissionen aufzudecken, die unter Umständen von den meteorologischen Schwankungen überdeckt sind, indem wie folgt vorgegangen wird:

1. Bestimmung des lokalen Verkehrsbeitrages innerhalb aller deutschen Gemeinden, in denen mindestens eine verkehrsnahen Messung und mindestens eine Messung im städtischen Hintergrund vorlag. Bei mehreren Stationen in einer Gemeinde wurde die mittlere verkehrsnahen und Hintergrundbelastung bestimmt und durch Differenzbildung der lokale Verkehrsbeitrag berechnet.

Abbildung 20

Beispielhafter Verlauf einer Messung verkehrsnah und im städt. Hintergrund mit gekennzeichnetem lokalen Verkehrsbeitrag



Quelle: Umweltbundesamt 2021

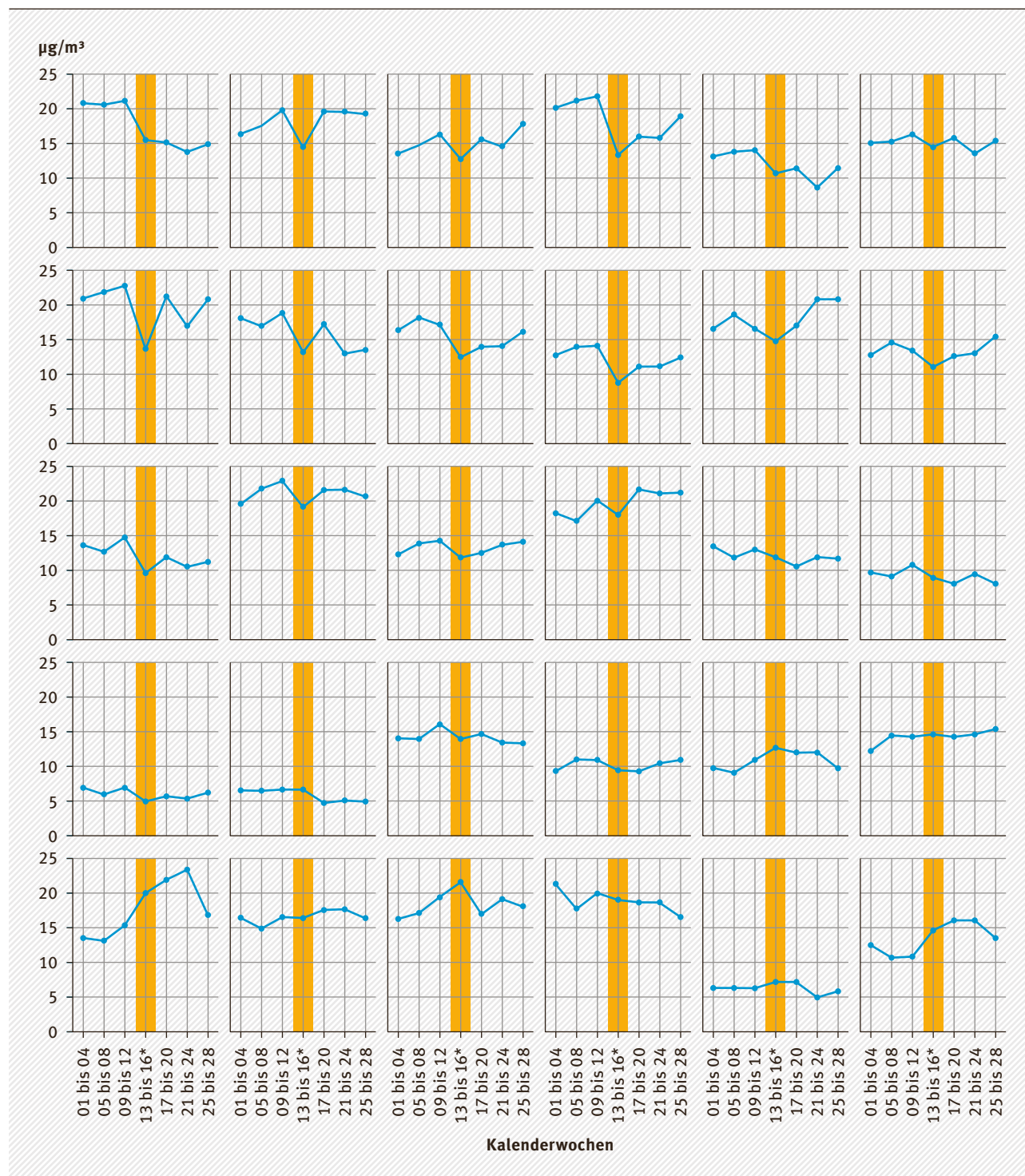
2. Selektion aller Gemeinden, in denen der mittlere lokale Verkehrsbeitrag in den Wochen vor dem Lockdown nahezu konstant⁷ war.

⁷ In allen Fällen, wo der lokale Verkehrsbeitrag vor dem Lockdown stark schwankt, kann der Ansatz als ungeeignet für die jeweilige Gemeinde angesehen werden, da angenommen wurde, dass sich die Emissionen vor dem Lockdown nicht signifikant verändert hatten.

Damit ergeben sich für 30 Gemeinden folgende Verläufe des mittleren lokalen Verkehrsbeitrages (s. Abb. 21). Diese Betrachtung macht deutlich, dass der lokale Verkehrsbeitrag bei einem Großteil der Gemeinden (73 Prozent) während des Lockdown-Zeitraums (KW13–KW16, in gelb) zurückgeht.

Abbildung 21

Mittlere Verläufe der lokalen Verkehrsbeiträge der 30 Gemeinden drei Monate vor und nach Frühjahr-Lockdown 2020, Lockdown-Zeitraum gelb markiert



Quelle: Umweltbundesamt 2021

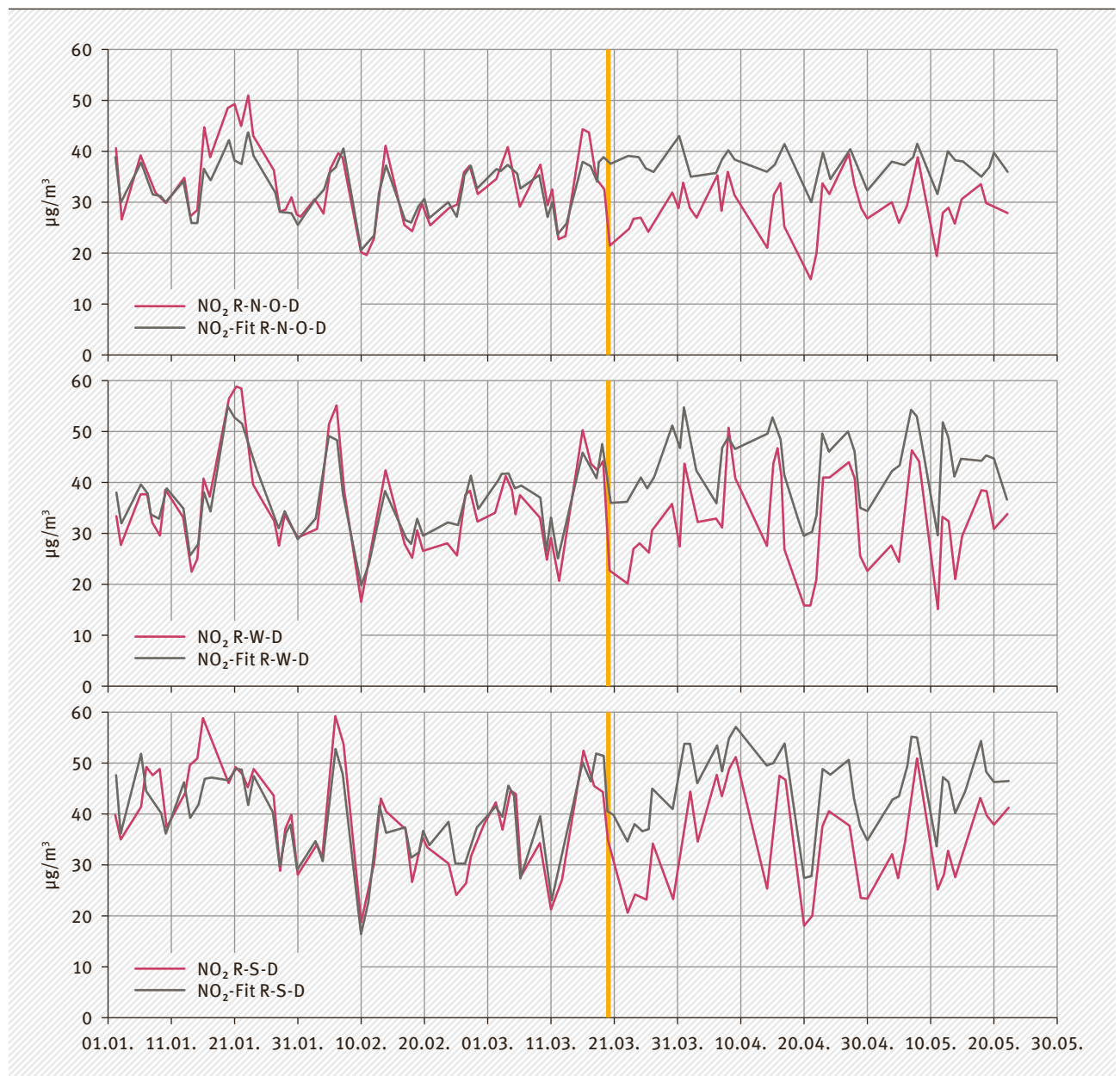
Die Verringerung des lokalen Verkehrsbeitrags bezogen auf die mittlere verkehrsnahe Gesamtbelastung ergibt die Lockdown-bedingten Rückgänge der verkehrsnahen NO_2 -Belastung: sie liegen im Bereich von 2 bis 24 Prozent und sind nicht auf witterungsbedingte Einflüsse zurückzuführen.

Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Der DWD nutzt den statistischen Zusammenhang zwischen den meteorologischen Bedingungen und der Schadstoffkonzentration, der sich aus Daten der Vergangenheit bestimmen lässt. Eine so entwickelte Fit-Funktion verwendet die Parameter Windgeschwindigkeit, Temperatur, NO_2 -Trend und Ozon und wurde für die Daten vom 01.01.2015 bis 22.03.2020 bestimmt (DWD2020). Vergleicht man die NO_2 -Konzentrationen dieser Fit-Funktion (Abb. 22, graue Linie)

Abbildung 22

Mittlere NO_2 -Zeitreihen in deutschen Städten >100 000 Einwohner (rot) verglichen mit den mittels meteorologischer Parameter gefitteten Zeitverläufen und deren Prognose für die Corona-Phase (grau). Dargestellt sind Tagesmittel an Werktagen von verkehrsnahen Messstellen für die Regionen Nord- und Ost-Deutschland (R-N-O-D), Westdeutschland (R-W-D) und Süddeutschland (R-S-D); Beginn Corona-Lockdown (gelb).



Quelle: https://www.dwd.de/DE/Home/_functions/aktuelles/2020/20200717_hintergrundbericht_gaw.html

mit den tatsächlich gemessenen (Abb. 22, rote Linie), kann dann der Lockdown-Effekt quantifiziert werden. Wegen des großen Einflusses der Meteorologie auf die Konzentrationen wurden Regionen stark korrelierender Windgeschwindigkeiten und Temperaturen zusammengefasst: Nord-Ost-Deutschland, Westdeutschland und Süddeutschland. Es ergeben sich zwischen den Regionen konsistente und signifikante Minderungen um 23 ± 6 Prozent in den ersten vier Wochen des Lockdowns. In der zweiten vierwöchigen Phase des Lockdowns sind diese witterungsberinigten Minderungen bedingt durch die wieder zunehmende Verkehrsaktivität schwächer.

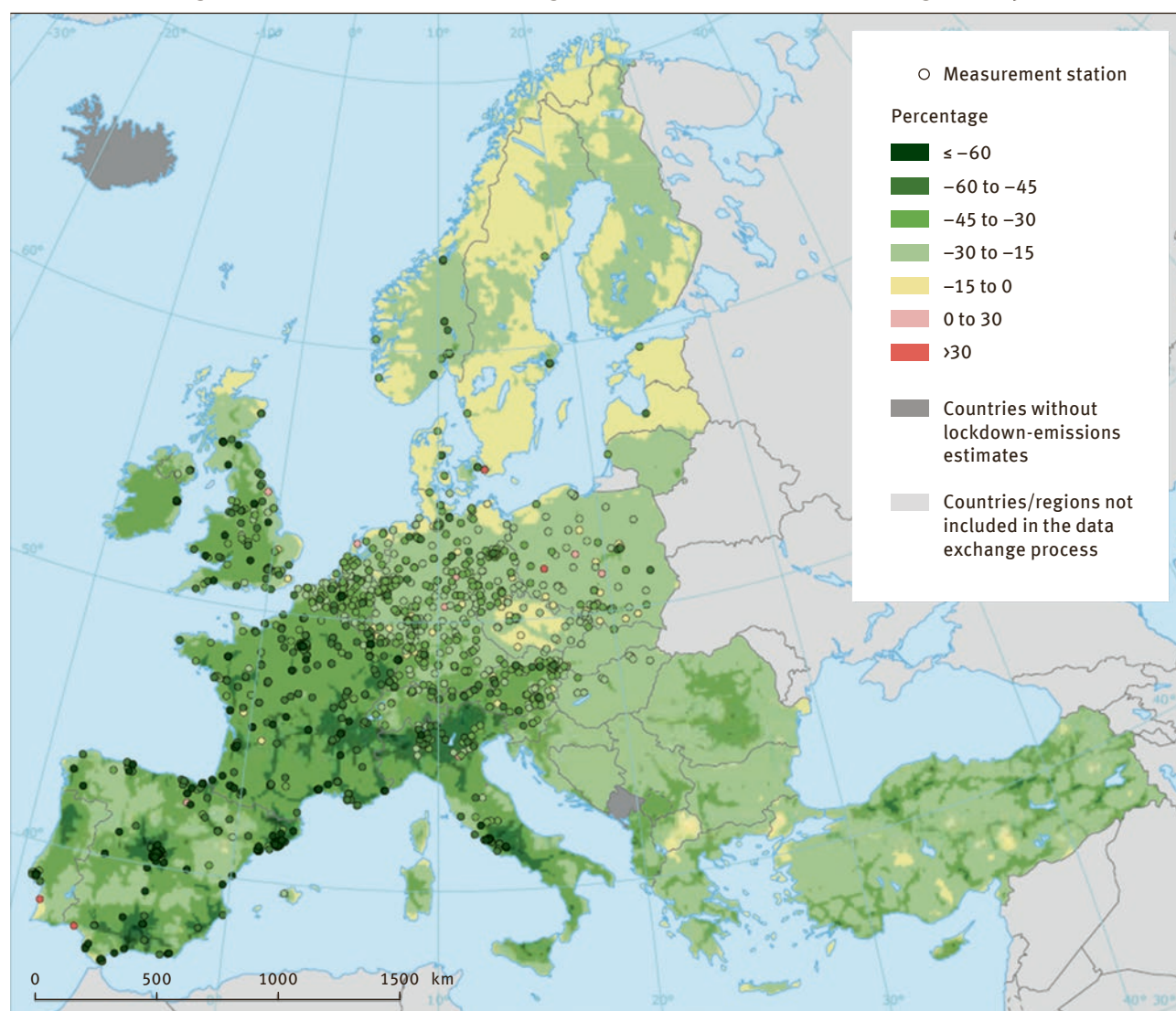
Auswertungen der Europäischen Umweltagentur

Die Europäische Umweltagentur nutzt für die Quantifizierung des Lockdown-Effekts auf alle europäischen NO_2 -Messstationen ein Modell⁸, welches aus historischen Daten (2015–2019) einen statistischen Zusammenhang zwischen Schadstoffkonzentrationen und den zeitgleich aufgetretenen Witterungsbedingungen herstellt (EEA2020). Dieser Zusammenhang wird genutzt, um mit den meteorologischen Bedingungen des März/April 2020 die Konzentrationen zu modellieren, die ohne Lockdown-bedingte Veränderungen der Emissionen aufgetreten wären. Vergleicht man die so modellierten Konzentrationen mit den

8 GAM: Generalized additive model

Abbildung 23

Relative Änderungen der NO_2 -Konzentrationen aufgrund der Lockdown-Einschränkungen im April 2020



Quelle: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

tatsächlich gemessenen, erhält man mit der Differenz den Lockdown-Effekt. Die Punkte in der Karte in Abb. 23 zeigen in grün/gelb die Lockdown-bedingten NO_2 -Rückgänge an den Stationen und in Rottönen die Zunahmen. Die flächenhaften Rückgänge der Konzentrationen wurden mit einem Ensemble aus 11 Chemie-Transport-Modellen (CAMS⁹) und einem aktuell entwickelten Emissionsinventar berechnet. Die Karte macht deutlich, dass es an nahezu allen (99 Prozent) der hier ausgewerteten europäischen Stationen im April 2020 zu rückläufigen Konzentrationen kam, die nicht auf witterungsbedingte Schwankungen zurückzuführen sind, sondern den Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie zugeschrieben werden können. Konsistent mit den vergleichsweise strengen Maßnahmen zeigen sich in den Ländern Spanien, Frankreich, Italien und Portugal die größten Rückgänge. Tschechien, Ungarn

und Polen hingegen weisen die geringsten Rückgänge auf. Deutschland liegt mit einem mittleren NO_2 -Rückgang von ca. 30 Prozent im mittleren Bereich.

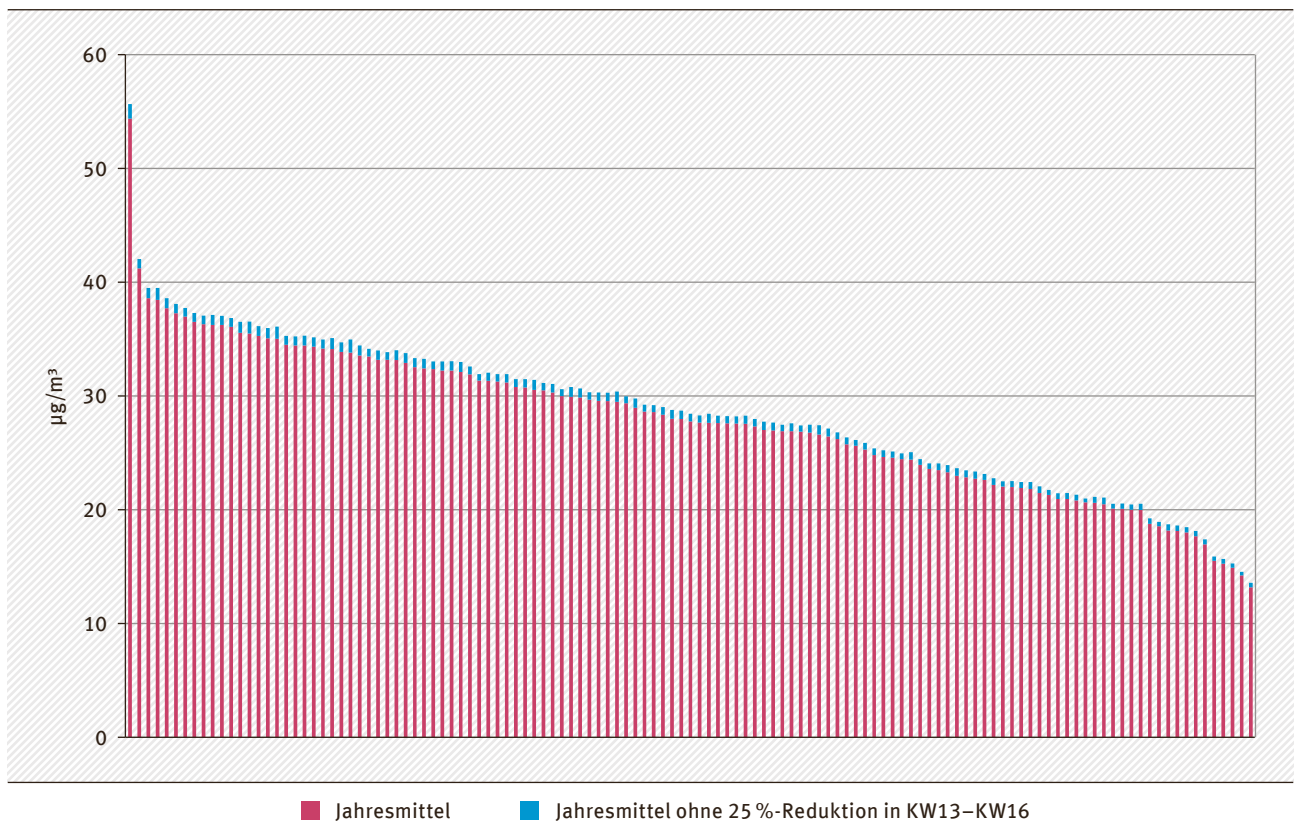
3 Auswirkung auf die Einhaltung der Luftgrenzwerte

Der zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegte Kurzzeitgrenzwert für NO_2 wird seit 2017 überall in Deutschland eingehalten, so dass eine Betrachtung der Verringerung der Belastung durch den Lockdown diesbezüglich irrelevant ist. Demgegenüber wird der auf das Jahresmittel bezogene Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überall eingehalten. Wie die vorangehenden Untersuchungen zeigen, haben in Deutschland die Lockdown-bedingten Einschränkungen im Frühjahr 2020 zu vorübergehenden, mittleren Reduktionen der NO_2 -Belastung um 20 bis 30 Prozent geführt, dies aber nur für den vergleichsweise kurzen Zeitraum von ca. vier Wochen. Um grob zu quantifizieren, wie groß der Einfluss dieses kurzen Zeitraums auf das Gesamtjahr ist, wurden alle Jahresmittelwerte verkehrsnaher Stationen im Jahr 2020 mit synthetischen Jahres-

⁹ CAMS: Copernicus Atmosphere Monitoring Service; <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicus-atmosphere-monitoring-service>

Abbildung 24

Verkehrsnaher NO_2 -Jahresmittelwerte 2020 aller stündlich messenden Stationen



Quelle: Umweltbundesamt 2021

mittelwerten verglichen, bei denen die Konzentrationen des Lockdown-Zeitraums keiner mittleren Reduktion von 25 Prozent (Mittelwert 20–30 Prozent) unterlagen. Abbildung 24 zeigt die bisher vorliegenden verkehrsnahen NO₂-Jahresmittelwerte für das Jahr 2020 (rot), und wie die Jahresmittelwerte ohne Lockdown-bedingte Rückgänge ausgesehen hätten (blau). Diese vereinfachte Annahme macht deutlich, dass die vorübergehend reduzierten Konzentrationen im Frühjahr nur einen untergeordneten Einfluss auf die Einhaltung des Grenzwertes haben.

4 Fazit

Die Maßnahmen im Frühjahr 2020 zur Eindämmung der Corona-Pandemie hatten grundsätzlich einen positiven Effekt auf die Luftqualität. Die an verkehrsnahen Messstationen in Städten gemessenen NO₂-Konzentrationen sanken im Zeitraum des Lockdowns, der Rückgang wurde jedoch durch ungünstige Ausbreitungsbedingungen gebremst. Wetterbereinigt wurden mittlere Rückgänge im Bereich von 20–30 Prozent bestimmt. Mancherorts wurden die niedrigsten NO₂-Monatsmittel seit Messbeginn festgestellt. In Abhängigkeit des jeweiligen Verkehrsrückgangs und der meteorologischen Randbedingungen fielen die Auswirkungen des Lockdowns auf die NO₂-Konzentrationen regional und lokal jedoch sehr unterschiedlich aus. Da sich der Corona-Lockdown nur auf einen vergleichsweise kurzen Zeitraum von ca. vier Wochen beschränkte, ist der Einfluss auf

die Jahresmittelwerte und damit auf die langfristige Belastung durch NO₂ gering. Vielmehr sind gezielte Luftreinhaltemaßnahmen in den Städten und die Flottenerneuerung die maßgeblichen Treiber des seit einigen Jahren beobachteten deutlichen Rückgangs der verkehrsnah gemessenen NO₂-Konzentrationen (s. Kapitel „III – Stickstoffdioxid“).

5 Verweise

BE2020: <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/weitere-meldungen/2020/ist-die-luft-wegen-der-corona-beschraenkungen-besser-geworden-929793.php>

DLR2020: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/02/20200505_corona-effekt-auf-luftqualitaet-eindeutig.html

DWD2020: https://www.dwd.de/DE/Home/_functions/aktuelles/2020/20200717_hintergrundbericht_gaw.html

EEA2020: Air quality in Europe – 2020 report; <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

HE2020: <https://www.hlnug.de/dossiers/sauberere-luft-durch-corona>

NI2020: https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/luftqualitaet/lufthygienische_uberwachung_niedersachsen/berichte/sonderberichte/stickstoffdioxid-belastung-in-niedersachsen-vor-und-waehrend-der-corona-pandemie-187854.html

NW2020: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber_trend/Auswirkungen_Covid19_Luftqualitaet_C3%A4t.pdf

MV2020: <http://www.lung.mv-regierung.de/umwelt/luft/lume.htm>

RP2020: <https://lfu.rlp.de/de/startseite/geringere-schadstoffbelastung-durch-corona/>

SN2020: https://www.luft.sachsen.de/download/Fachbeitrag_2020_06_22.pdf

Weitere Informationen zum Thema

Aktuelle Luftqualitätsdaten:

<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:

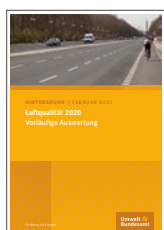
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe/stickstoffoxide>

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/