



HINTERGRUND // JANUAR 2017

Luftqualität 2016

Vorläufige Auswertung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Inhalt

I	Luftqualität 2016: Datengrundlage und Auswertemethodik	4
1	Luftqualität und Luftschadstoffe	4
2	Vorläufigkeit der Angaben	4
3	Ursachen der Luftbelastung	5
4	Einfluss der Umgebungsbedingungen	5
II	Feinstaub: Etwas Entlastung – aber keine Entwarnung für die Gesundheit	6
1	PM ₁₀ -Tagesmittelwerte	6
2	PM ₁₀ -Jahresmittelwerte	7
3	PM _{2,5} -Belastung	8
III	Stickstoffdioxid: Kaum Besserung gegenüber dem Vorjahr	9
1	NO ₂ -Jahresmittelwerte	9
2	NO ₂ -Stundenmittelwerte	10
IV	Bodennahes Ozon: Die Luftreinhaltepolitik greift – dennoch keine Entwarnung	11
V	Wie beeinflusst der Klimawandel unsere Luftqualität?	15
1	Klimawandel und Luftqualität	15
2	Forschungsprojekt KLENOS	16
3	Evaluierung des Klimamodells	16
4	Klimasignal: Änderung der meteorologischen Bedingungen in der Zukunft	16
5	Mehr Ozon in Folge des Klimawandels	17
6	Trotz Klimawandels: weniger Ozon durch zukünftige Emissionsminderungen	17
7	Schlussfolgerungen aus dem Projekt	19
VI	Weitere Informationen zum Thema	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Belastungsregime für Feinstaub und Stickstoffdioxid	5
Abbildung 2:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das PM ₁₀ -Tagesmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016	6
Abbildung 3:	Mittlere Anzahl von PM ₁₀ -Überschreitungstagen (Tagesmittelwerte > 50 µg/m ³) pro Monat im jeweiligen Belastungsregime. Dargestellt für die Jahre 2016, 2011 und den Zeitraum 2005-2015	7
Abbildung 4:	Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte* Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016	8
Abbildung 5:	Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte* Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016	9
Abbildung 6:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das NO ₂ -Jahresmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016	10
Abbildung 7:	Überschreitungsstunden der Informationsschwelle (180 µg/m ³) und der Alarmschwelle (240 µg/m ³) für bodennahes Ozon	12
Abbildung 8:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Gesundheit, Zeitraum 1995 bis 2016	13
Abbildung 9:	Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Vegetation, Zeitraum 1995 bis 2016	14
Abbildung 10:	Deutschlandkarte der maximalen 1-Stundenmittelwerte von Ozon am 3. Juli 2015	15
Abbildung 11:	Relative Änderungen des langjährigen Flächenmittels zwischen Referenz- und Projektionszeitraum durch Klimaänderungen	17
Abbildung 12:	Relative Änderungen der gesamtdeutschen Emissionen von 2005-2030, APS 2030	18
Abbildung 13:	Relative Änderungen des langjährigen Flächenmittels zwischen Referenz- und Projektionszeitraum durch Klimaänderungen und Emissionsänderungen	18
Abbildung 14:	Box-Whisker-Plots der langjährigen Mittelwerte, dargestellt sind Minimum, 25%-Perzentil, Median, 75%-Perzentil und Maximum der 30-jährigen Mittelwerte	20



An der UBA-Messstation in Zingst an der Ostseeküste wurde im Juni 2015 ein neues Stationsgebäude in Betrieb genommen. Es entspricht den Passivhausstandards.

I Luftqualität 2016: Datengrundlage und Auswertemethodik

1 Luftqualität und Luftschadstoffe

Die Luftqualität, oder anders ausgedrückt 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.

Die Schadstoffkonzentrationen in der Luft werden mehrmals am Tag an mehr als 650 Messstationen deutschlandweit gemessen.

Zur deutschlandweiten Beurteilung der Luftqualität werden die Daten der Länder am Umweltbundesamt zusammengeführt und ausgewertet.

Die Auswertung und Beurteilung der Luftqualität erfolgt im Hinblick auf die in der Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa¹ definierten 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 2016 in Deutschland basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, Stand 23. Januar 2017. Aufgrund der umfangreichen Qualitätssicherung in den Messnetzen stehen die endgültigen Daten erst Mitte 2017 zur Verfügung. Die jetzt vorliegenden Daten lassen aber eine generelle

Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5})

sind Partikel, die den größenselektierenden Lufteinlass eines Messgerätes passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 (PM₁₀) bzw. 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 negativ auf den Gesundheitszustand wirkt.

Stickstoffdioxid (NO₂)

ist eine reaktive Stickstoffverbindung, die als Nebenprodukt bei Verbrennungsprozessen, vor allem in Fahrzeugmotoren, entsteht und die zu einer Vielzahl negativer Umweltwirkungen führen kann.

Ozon (O₃)

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

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

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 bei diesen nach wie vor Überschreitungen der geltenden Grenz- und Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit auftreten.

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 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. 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.

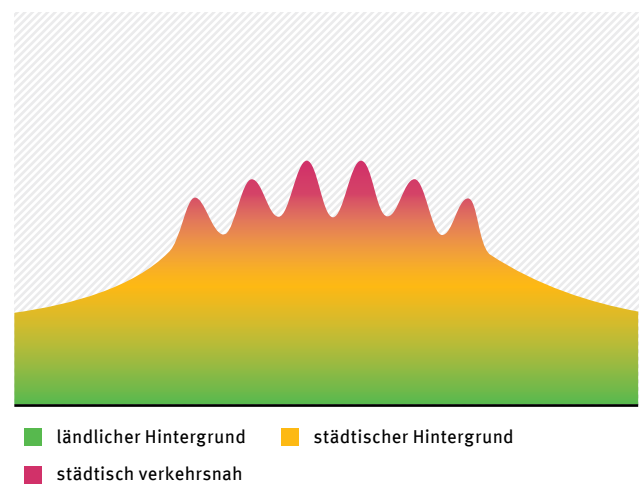
4 Einfluss der Umgebungsbedingungen

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationswerte als so genannte »Belastungsregime« zusammengefasst. Belastungsregime gruppieren Messstationen mit ähnlichen Umgebungsbedingungen. Das Regime »ländlicher Hintergrund« steht für Gebiete, in denen

die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen Emissionen ist. Stationen in diesem Regime repräsentieren somit das großräumige Belastungsniveau, das auch als großräumiger Hintergrund bezeichnet wird. Das Regime »städtischer Hintergrund« ist charakteristisch für Gebiete, in denen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen als typisch für die Luftqualität in der Stadt angesehen werden können. Die Belastung ergibt sich dabei aus den Emissionen der Stadt selbst (Straßenverkehr, Heizungen, Industrie etc.) und denen des großräumigen Hintergrunds. Stationen des Regimes »städtisch verkehrsnah« befinden sich typischerweise an stark befahrenen Straßen. Dadurch addiert sich zur städtischen Hintergrundbelastung ein Beitrag, der durch die direkten Emissionen des Straßenverkehrs entsteht. Abbildung 1 stellt die Beiträge der einzelnen Belastungsregime schematisch dar, gibt allerdings nur die ungefähren Größenverhältnisse wieder.

Abbildung 1

Schematische Darstellung der Belastungsregime für Feinstaub und Stickstoffdioxid modifiziert nach Lenschow²



2 Lenschow et. al., Some ideas about the sources of PM_{10} , Atmospheric Environment 35 (2001) S23–S33

II Feinstaub: Etwas Entlastung – aber keine Entwarnung für die Gesundheit

1 PM₁₀-Tagesmittelwerte

Die Feinstaubbelastung fällt 2016 geringer aus im Vergleich zu 2005–2015. 2016 gehört zu den am wenigsten belasteten Jahren. Nur an der Station Stuttgart Am Neckartor wurde mit 63 Tagesmittelwerten über 50 µg/m³ der gesetzliche Grenzwert überschritten – erlaubt wären 35 Tage. Auch in den Vorjahren traten Grenzwertüberschreitungen fast ausschließlich an verkehrsnahen Messstationen auf, wie aus Abbildung 2 ersichtlich (rote Balken). Die Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO³) wurde an 46 Prozent aller Stationen nicht eingehalten.

EU-Grenzwert

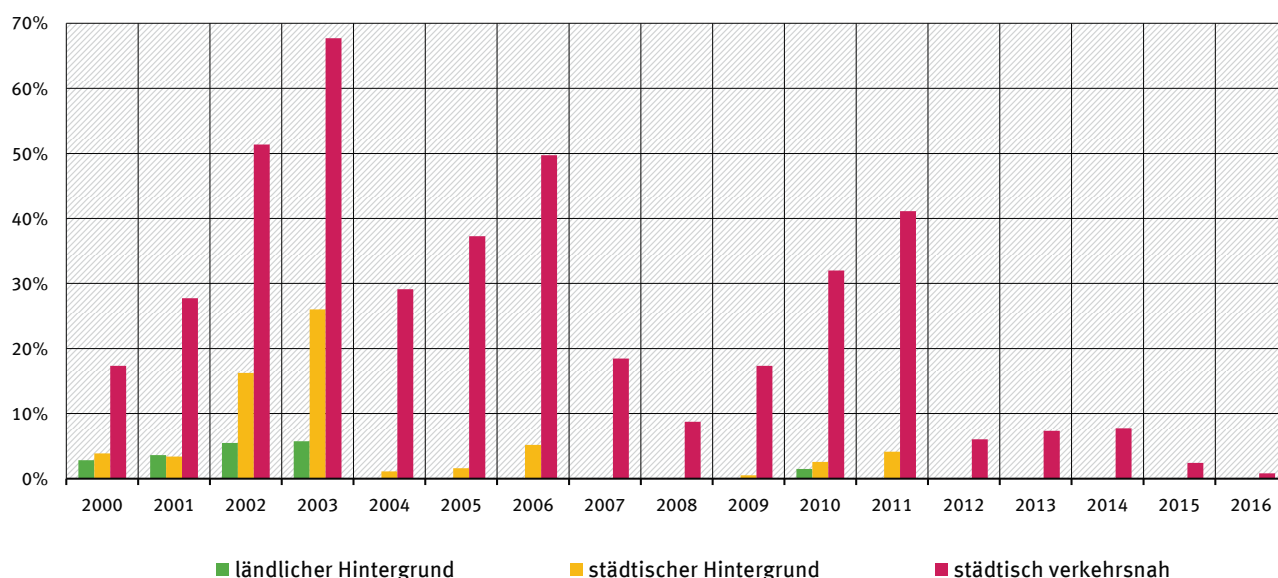
Der PM₁₀-Tagesmittelwert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr 50 µg/m³ überschreiten.

WHO-Empfehlung

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

Abbildung 2

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das PM₁₀-Tagesmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016



Quelle: Umweltbundesamt 2017

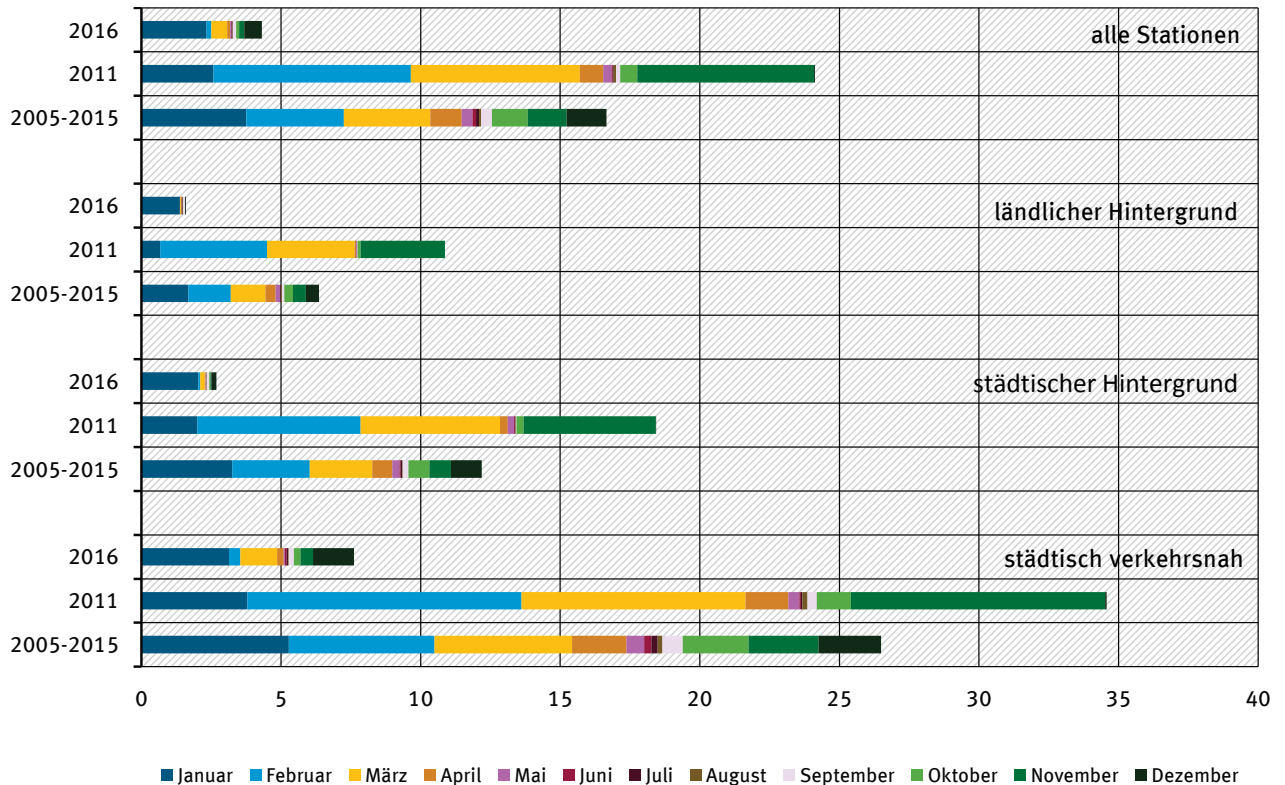
Die Abbildung 3 zeigt auf, wie viele Überschreitungstage im Mittel pro Monat registriert wurden. Das Jahr 2016 wird hier dem aufgrund des häufigen Auftretens kalter, stabiler Hochdruckwetterlagen hochbelasteten Jahr 2011 und einem längeren Referenzzeitraum (2005–2015) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass im Jahr 2011 bereits im Februar mehr

als doppelt so viele Überschreitungstage gezählt wurden, als 2016 im ganzen Jahr. Auch der langjährige Vergleich zeigt, dass 2016 ein Jahr mit geringer Feinstaubbelastung war, in dem Überschreitungstage hauptsächlich im Zeitraum Januar beobachtet wurden.

3 WHO – World Health Organisation, Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition 2000, WHO Regional Publications, European Series, No. 91 <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf> | WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005 <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>

Abbildung 3

Mittlere Anzahl von PM₁₀-Überschreitungstagen (Tagesmittelwerte > 50 µg/m³) pro Monat im jeweiligen Belastungsregime. Dargestellt für die Jahre 2016, 2011 und den Zeitraum 2005-2015



Quelle: Umweltbundesamt 2017

2 PM₁₀-Jahresmittelwerte

Der PM₁₀-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde im Jahr 2016 deutschlandweit eingehalten. 24 Prozent der Messstationen wiesen jedoch Werte oberhalb des von der WHO vorgeschlagenen Luftgüteleitwertes auf. Der weitaus größte Teil davon waren verkehrsnahen Messstationen.

Wie schon im Vorjahr, blieben auch 2016 extreme, feinstaubbegünstigende Wetterlagen aus, wie sie beispielsweise im Frühjahr und Herbst 2011 beobachtet wurden. Langfristig betrachtet war 2016 daher das am wenigsten belastete Jahr (Abbildung 4). Einhergehend mit großräumigen Minderungen der PM₁₀-Emissionen weisen die PM₁₀-Jahresmittelwerte in allen Belastungsregimen über den gesamten Beobachtungszeitraum 2000 bis 2016 eine deutliche

EU-Grenzwert

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

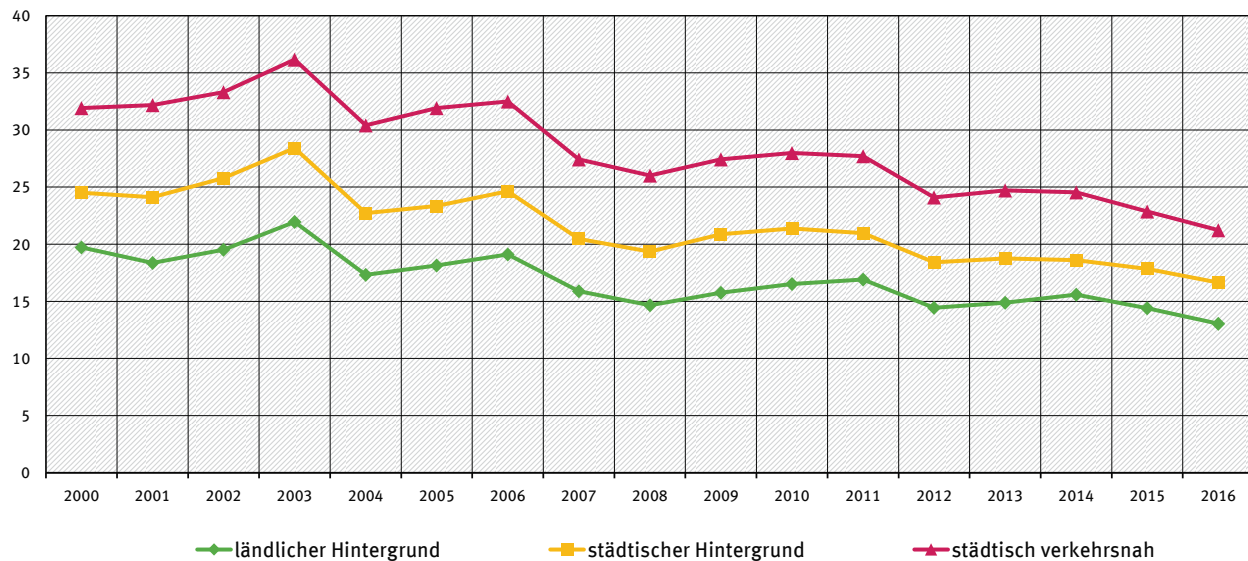
WHO-Empfehlung

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

che Abnahme auf. Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährige Schwankungen geprägt, vor allem wegen der unterschiedlichen Witterungsverhältnisse.

Abbildung 4

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte* Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016



* Ausgewählt wurden diejenigen Stationen, die über einen längeren Zeitraum hinweg gemessen haben. Beispiel: Im städtisch verkehrsnahen Bereich muss eine Station in mindestens 11 Jahren PM₁₀ gemessen haben, damit die Daten in die Berechnung einfließen.

Quelle: Umweltbundesamt 2017

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 im Jahr 2016 ebenso wie im Vorjahr an keiner Station überschritten.

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. Für 2016 (Mittelwert der Jahre 2014, 2015, 2016) betrug der AEI 13,4 µg/m³. Innerhalb der modellierten Szenarien des UBA-Projektes »Luftqualität 2020/2030«⁴ zeigt sich für den Zeitraum 2005 bis 2020 eine Spannweite der möglichen Minderung des AEI um 3,4 bis 3,9 µg/m³. Aufgrund der Unsicherheiten bei der Modellierung

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.

und des Umstandes, dass der wachsende Einfluss der Holzfeuerungen im Projekt möglicherweise unterschätzt wurde, kann nicht mit Sicherheit von der Erreichung des Reduktionszieles bis 2020 ausgegangen werden. Zudem darf der AEI ab dem 1.1.2015 den Wert von 20 µg/m³ nicht überschreiten. Dieser Wert wurde in Deutschland seit Beginn der Messung im Jahr 2008 nicht überschritten.

III Stickstoffdioxid: Kaum Besserung gegenüber dem Vorjahr

1 NO₂-Jahresmittelwerte

Die Stickstoffdioxidbelastung zeigt seit 2000 nur einen leichten Rückgang. 2016 lag die mittlere NO₂-Konzentration an verkehrsnahen Messstationen erstmals seit 2000 unter 40 µg/m³ im Jahresmittel. Die Höhe der Belastung ist vor allem durch lokale Emissionsquellen – insbesondere durch den Verkehr in Ballungsräumen – bestimmt und weist nur geringe zwischenjährliche Schwankungen auf.

Im ländlichen Bereich, fern der typischen NO₂-Quellen, lagen die Konzentrationen 2000-2016 an allen Messstationen im Jahresmittel auf einem Niveau um 10 µg/m³ (Abbildung 5, grüne Kurve). Im städtischen Hintergrund liegen die Werte weit unterhalb des Grenzwertes von 40 µg/m³, (Abbildung 5, gelbe Kurve). Mit Werten um 45 µg/m³ überstieg von 2000-2011 der mittlere NO₂-Jahresmittelwert an verkehrsnahen Standorten (Abbildung 5, rote Kurve) den seit 1.1.2010 einzuhaltenden Grenzwert um ca. 5 µg/m³. Dies spiegelt wider, dass an einer Vielzahl von Stationen Jahresmittel oberhalb 40 µg/m³ gemessen und somit Grenzwertüberschreitungen verzeichnet wurden.

Die vor allem an hoch belasteten, verkehrsnahen Standorten mittels Passivsammler gemessenen NO₂-Konzentrationen liegen für diese vorläufige Auswer-

EU-Grenzwert

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

WHO-Empfehlung

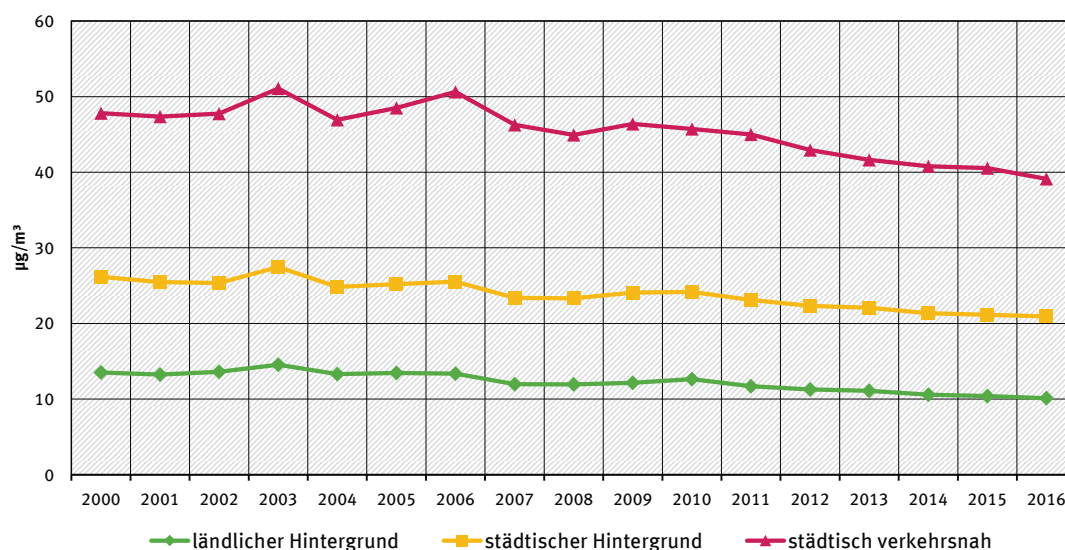
Die Empfehlung der WHO entspricht dem EU-Grenzwert.



Passivsammler: Ein Passivsammler ist ein kleines, ohne Energie betriebenes Messgerät, in dem mehrere Prüfröhrchen die Schadstoffe aus der Luft aufnehmen. Die Röhrchen werden regelmäßig eingesammelt und der Inhalt im Labor ausgewertet.

Abbildung 5

Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte* Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016



* Ausgewählt wurden diejenigen Stationen, die über den ganzen Zeitraum hinweg gemessen haben.

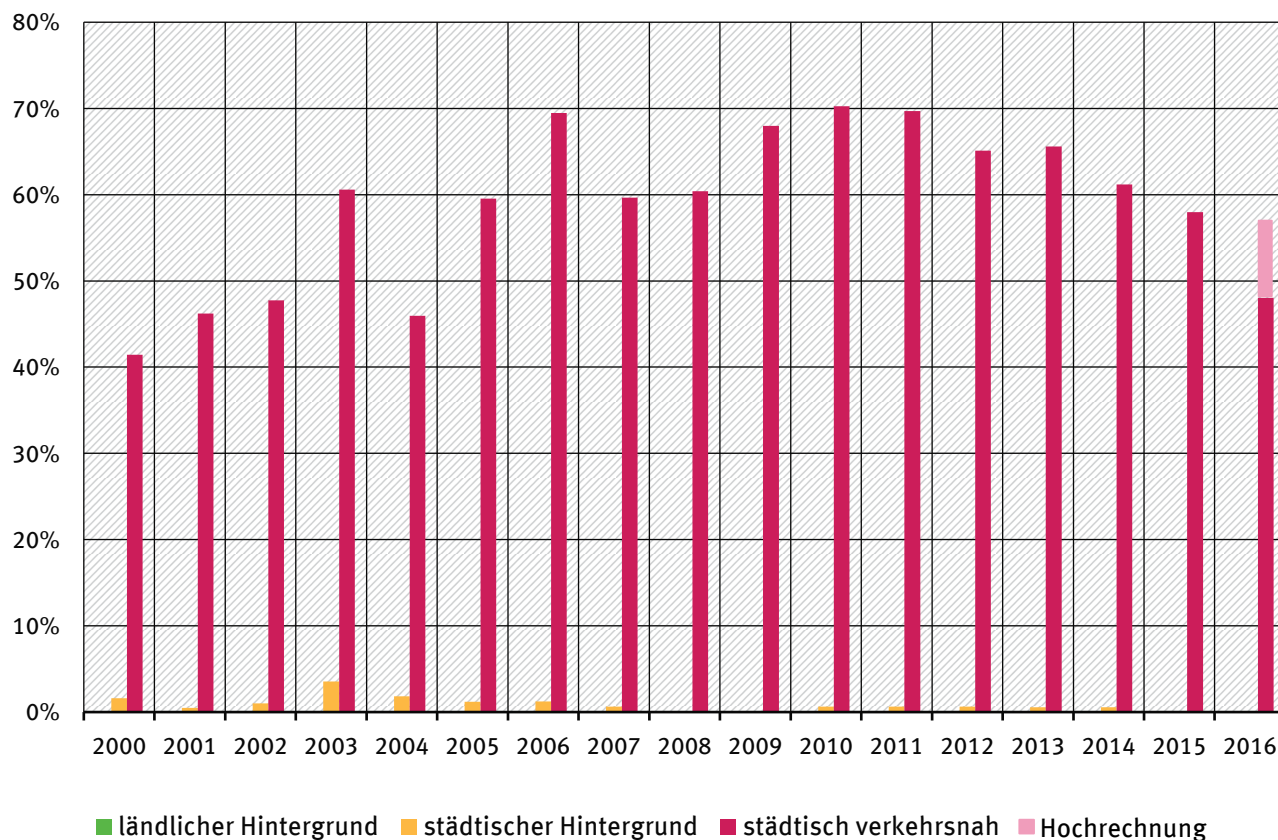
Quelle: Umweltbundesamt 2017

tung noch nicht vor. Mit dem jetzigen Stand der Daten überschritten 48 Prozent der verkehrsnahen Messstationen den einzuhaltenden Grenzwert bzw. den WHO-Luftgüteleitwert (Abbildung 6, rote Balken). Mittels

einer aus Vorjahresdaten abgeleiteten Hochrechnung schätzen wir den Anteil der verkehrsnahen Stationen mit Grenzwertüberschreitung im Jahr 2016 auf ca. 57 Prozent.

Abbildung 6

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das NO₂-Jahresmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2016



Quelle: Umweltbundesamt 2017

2 NO₂-Stundenmittelwerte

NO₂-Stundenmittelwerte über 200 µg/m³ sind seit 2010 höchstens 18-mal im Jahr zulässig. Zu Überschreitungen dieses Wertes kam es im Jahr 2016 an ca. 1 Prozent aller verkehrsnahen Stationen. In den Vorjahren war die Situation ähnlich.

An 6 Prozent aller verkehrsnahen Messstationen wurde der WHO-Empfehlung 2016 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.

IV Bodennahes Ozon: Die Luftreinhaltepolitik greift – dennoch keine Entwarnung

Der Sommer 2016 verlief deutschlandweit eher wechselhaft, mit vielen Gewittern und ohne lang anhaltende Hochdruckwetterlagen. Dadurch blieben Episoden mit höheren Ozonkonzentrationen aus. Lediglich Ende August und in der ersten Septemberhälfte kam es bei hohen Temperaturen und viel Sonnenschein vermehrt zur Bildung von Ozon.

Bezogen auf die Schwellen- und Zielwerte lagen die Werte im Vergleich zu den letzten 20 Jahren eher niedrig.

Der höchste 1-Stundenmittelwert betrug $246 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gemessen am 27. August an der Station Niederzier in Nordrhein-Westfalen. Die Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittel wurde lediglich während einer Stunde an dieser einzelnen Station überschritten; die Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an insgesamt 12 Tagen. Damit zählt der Sommer 2016 zu den Sommern mit niedriger Ozon-Belastung (siehe auch Abbildung 7).

Verglichen mit dem Jahr 1990 sind die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe wie Stickstoffoxide aus dem Straßenverkehr und aus Feuerungsanlagen sowie flüchtige organische Verbindungen aus Farben, Lacken und Reinigungsmitteln, in Deutschland bis zum Jahr 2014 um 58 beziehungsweise 69 Prozent zurückgegangen.

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)

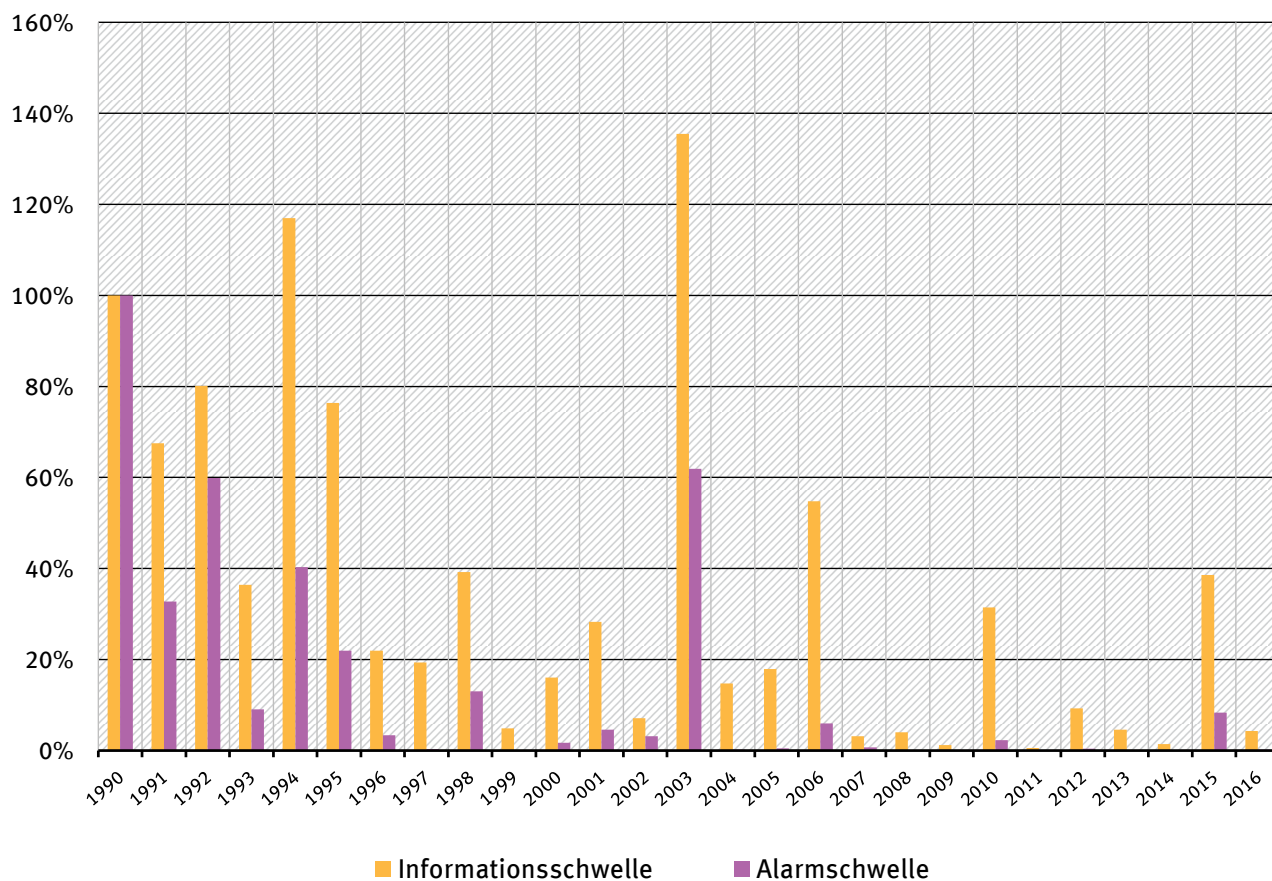
Der Begriff AOT40 (Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 parts per billion) bezeichnet die Summe der Differenzen zwischen den 1-Stundenmittelwerten über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($=40 \text{ ppb}$) und dem Wert $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends, in den 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.

Die Anstrengungen Deutschlands, die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe weiter zu mindern, müssen dennoch fortgeführt werden, denn der langfristige Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 8-Stundenmittelwert) wird deutschlandweit nicht eingehalten: 2016 wurden an allen 258 Stationen 8-Stundenmittelwerte über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Demnach wurde auch die Empfehlung der WHO, dass die 8-Stundenmittelwerte den Wert von

$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten sollen, verfehlt. Im Mittel über alle Stationen lagen 2016 die höchsten täglichen 8-Stundenmittelwerte an 16 Tagen über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit etwas unter dem Niveau der letzten 20 Jahre. Ein starker Rückgang im Vergleich zu den 1990er-Jahren, wie er bei den hohen Konzentrationswerten über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu beobachten ist, ist für die Einhaltung des langfristigen Zielwertes nicht festzustellen.

Abbildung 7

Überschreitungsstunden der Informationsschwelle ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und der Alarmschwelle ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) für bodennahes Ozon (relativ zum Jahr 1990 und zur Zahl der jeweils betriebenen Messstationen)



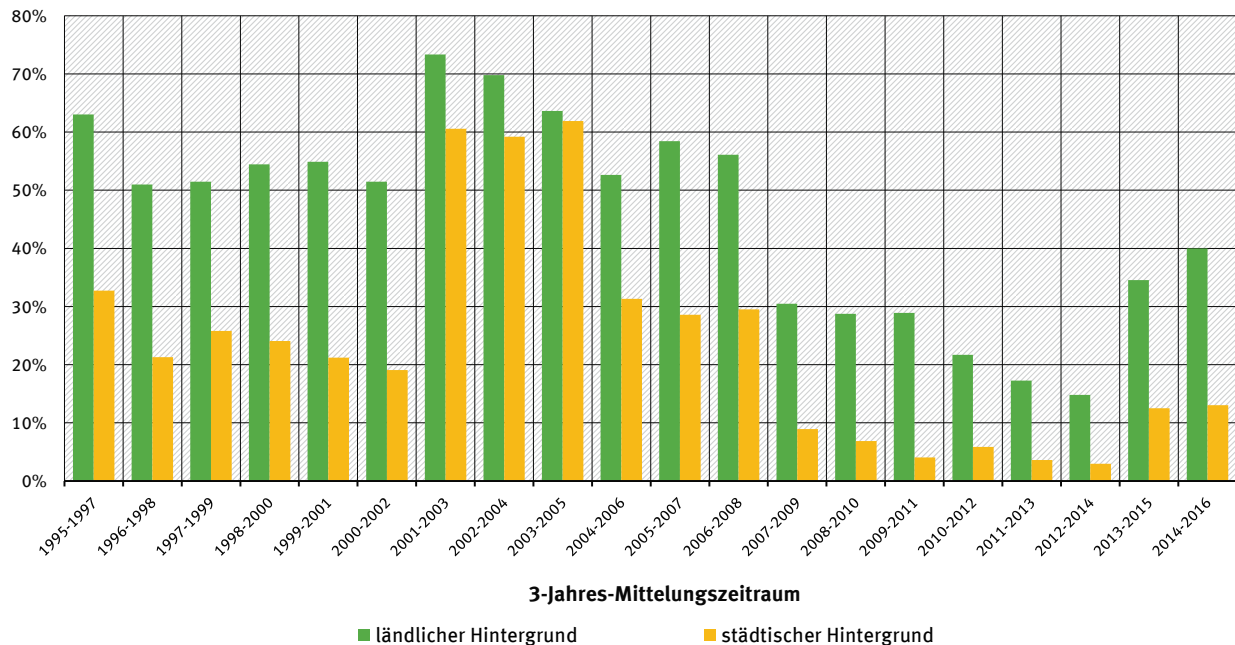
Quelle: Umweltbundesamt 2017

Für den Zielwert zum Schutz der Gesundheit wird ein 3-Jahres-Zeitraum betrachtet: Im Mittel darf nur an 25 Tagen der Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-Stundenmittel überschritten werden. Doch auch im letzten Mittelungszeitraum von 2014 bis 2016 überschreiten noch 21 Prozent der Stationen diesen Wert. Abbildung 8 zeigt, dass die meisten Überschreitungen im ländli-

chen Bereich auftreten – im Gegensatz zu den Schadstoffen Feinstaub und Stickstoffdioxid, die in Straßennähe die höchsten Konzentrationen aufweisen, sind gerade in Straßennähe die Ozonwerte sehr viel niedriger. Deswegen wird an verkehrsnahen Stationen Ozon selten gemessen.

Abbildung 8

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Gesundheit, Zeitraum 1995 bis 2016 (jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 3 Jahre)



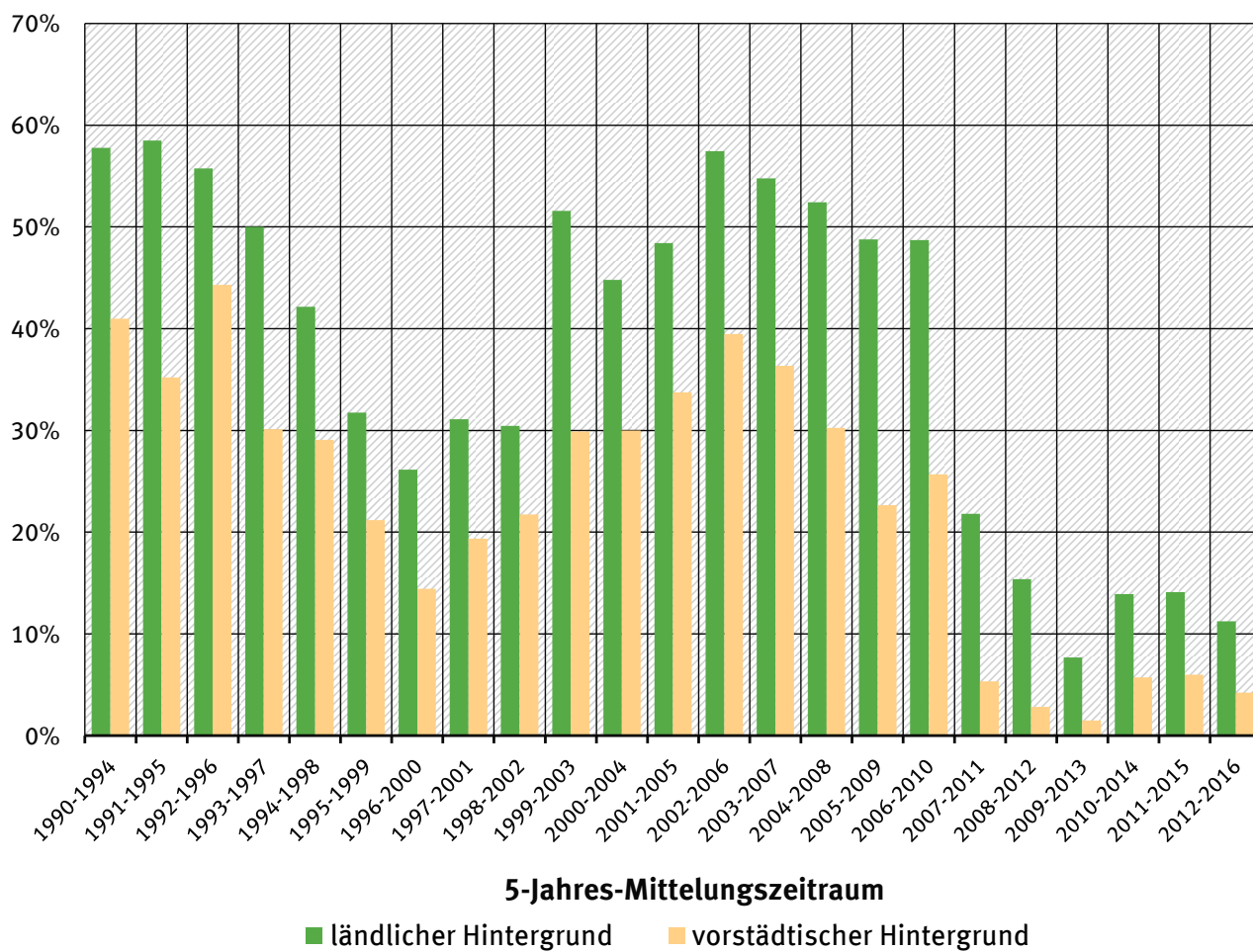
Quelle: Umweltbundesamt 2017

Für die Ermittlung der Zielwerte für den Schutz der Vegetation (AOT40) werden gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie nur die rund 160 Messstationen außerhalb von Städten 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) für den letzten Mittelungszeitraum von 2012 bis 2016 wurde an zwölf Stationen (= 7 %, Vorjahr: 15 Stationen = 10 %) überschritten. In den letzten zehn Jahren traten verhältnismäßig wenige Überschreitungen des Zielwerts auf, wie Abbildung 9 zeigt. Diese Verbesserung bedeutet aber nicht, dass

Risiken für die Vegetation kaum noch auftreten. Die kritische Schwelle für Wirkungen auf Pflanzen liegt nach derzeit gültiger Methodik in Höhe des langfristigen Zielwertes ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ summiert von Mai bis Juli), der 2016 an 157 der 161 Messstationen (= 98 %; Vorjahr: 99 %) überschritten wurde. Die Methoden der Wirkungsbewertung für Ozon werden in Europa derzeit weiterentwickelt. Dabei werden nicht nur die Ozonkonzentration, sondern auch meteorologische Gegebenheiten, das Öffnungsverhalten der Spaltöffnungen der Pflanzen und damit der Ozonfluss in die Pflanze berücksichtigt.

Abbildung 9

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Vegetation, Zeitraum 1995 bis 2016
(jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 5 Jahre)



Quelle: Umweltbundesamt 2017

V Wie beeinflusst der Klimawandel unsere Luftqualität?

Die Auswirkungen des Klimawandels werden vielfältige Konsequenzen auf die zukünftige Luftqualität haben. Die steigende Temperatur beispielsweise erhöht das Risiko hoher Ozonkonzentrationen, falls die Emissionen der Vorläuferstoffe nicht weiter reduziert werden. Die extreme Hitze im Sommer des Jahres 2015 war ein Beispiel für Temperaturen, die in Zukunft häufiger zu erwarten sein werden.

Im Juli und im August 2015 war es in Deutschland so heiß, dass im unterfränkischen Kitzingen mit 40,3 °C sogar ein neuer deutscher Temperaturrekord erreicht wurde. Der August 2015 war der zweitwärmste August seit 1881, insgesamt war das Jahr 2015 mit zehn überdurchschnittlich warmen Monaten das zweitwärmste Jahr⁵ seit Beginn der Aufzeichnungen⁶.

Während dieser außergewöhnlich heißen und trockenen Schönwetterperioden wurden an den Luftmessstationen seit langem wieder Ozonkonzentrationen oberhalb der Alarmschwelle von 240 µg/m³ beobachtet, die in den letzten 10 Jahren kaum noch erreicht wurde. Der deutschlandweit höchste Stundenmittelwert von 283 µg/m³ wurde am 3. Juli 2015 an der Station Wiesbaden-Süd gemessen. Das war der höchste Messwert seit dem Hitzesommer 2003.

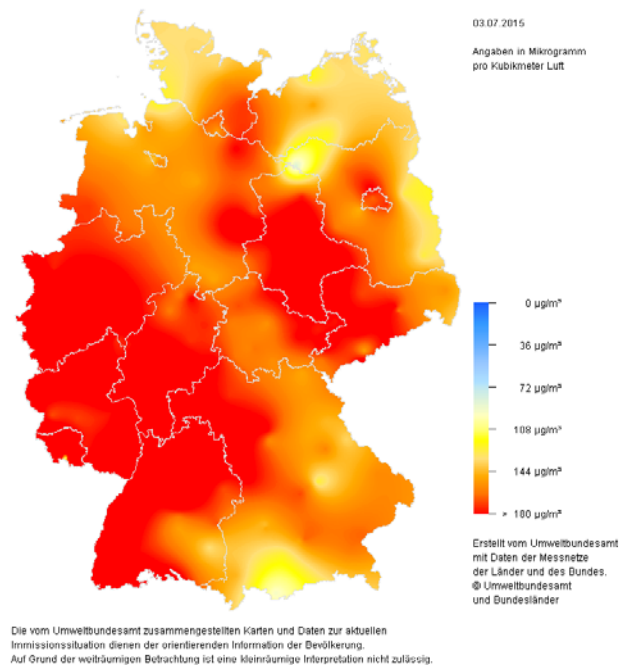
Die Karte vom 3. Juli 2015 (Abbildung 10) zeigt, dass während dieser Episode ganz Deutschland von hohen Ozonkonzentrationen betroffen war. An diesem Tag wurden an 111 Stationen (ca. 43 Prozent aller Stationen) Stundenmittelwerte oberhalb der Informationsschwelle von 180 µg/m³ beobachtet. Das ist die kritische Konzentration, ab der die Bevölkerung zeitnah über festgestellte oder vorhergesagte Überschreitungen und damit verbundene Verhaltensempfehlungen unterrichtet werden muss.

1 Klimawandel und Luftqualität

Ändern sich im Zuge des Klimawandels die meteorologischen Variablen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Entstehung, Verteilung und Entfernung von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre haben, so hat dies sowohl Auswirkungen auf die mittlere Luftqualität als auch auf die Luftqualität während hochbelasteter Feinstaub- und Ozon-Episoden.

Abbildung 10

Deutschlandkarte der maximalen 1-Stundenmittelwerte von Ozon am 3. Juli 2015



Für Mitteleuropa wird ein deutlicher Anstieg der Jahresmitteltemperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwartet, der in Abhängigkeit vom betrachteten Emissionsszenario und der Region zwischen 1 und 5 Grad Celsius liegt. Aufgrund dieses zukünftigen Temperaturanstiegs zeigen verschiedene Studien einen Anstieg der Ozonkonzentration in den mittleren Breiten auf.

Während die vorhergesagten Änderungen der Temperatur in verschiedenen Klimaprojektionen deutlich zu Tage treten, zeigen die projizierten Niederschlagsänderungen für Mitteleuropa größere Unterschiede. Dies spiegelt die mit der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität verbundene Unsicherheit in der Modellierung durch Klimamodelle wider. Diese Unsicherheiten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Vorhersage der zu erwartenden Feinstaubkonzentrationen, da Niederschlag die wichtigste Feinstaubsenke darstellt.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die Luftqualität und die Einhaltung geltender Grenzwerte haben die Mengen freigesetzter Schadstoffe, so zum Beispiel die Emissionen von Stickoxiden und Feinstaub.

⁵ gemeinsam mit 2000 und 2007

⁶ Deutschlandwetter im Jahr 2015, Archiv der Pressemitteilungen, www.dwd.de

Die Bedeutung von Klimawandel und veränderten Emissionsmengen auf die Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft können nur mit Hilfe von Klimawandel- und Emissionsszenarien analysiert werden. Dabei werden die in Zukunft zu erwartenden meteorologischen Bedingungen und Emissionsmengen in Modellen simuliert.

2 Forschungsprojekt KLENOS

Im Forschungsprojekt KLENOS (Klima Energie Ozon Staub) wurde untersucht, wie sich die Luftqualität unter verschiedenen Annahmen zum Klimawandel und der Emissionsentwicklung ändern könnte, indem eine regionale Klimasimulation und eine Chemie-Transport-Modellierung kombiniert wurden. Dazu wurde ein regionales Klimamodell⁷ als meteorologischer Antrieb für ein Chemie-Transport-Modell⁸ für ganz Europa und für Deutschland konfiguriert und angewendet. Die so berechneten, deutschlandweiten Konzentrationsfelder für Ozon (O₃), Feinstaub (PM₁₀) und Stickstoffdioxid (NO₂) haben eine räumliche Auflösung von 7 x 8 Quadratkilometern.

3 Evaluierung des Klimamodells

Zur Evaluierung der Güte und Leistungsfähigkeit des regionalen Klimamodells wurden Modellergebnisse aus dem Referenzzeitraum 1976 bis 2005 mit tatsächlichen Beobachtungsdaten von Wetterstationen verglichen.

Die Modellierung des Niederschlags ist aufgrund der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität mit einer Reihe von Schwierigkeiten verknüpft. Die beobachteten Niederschläge werden für weite Gebiete Europas vom Modell überschätzt, was bei der weitergehenden Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss: Durch die überschätzten Niederschläge entstehen zu hohe Wolkenbedeckungsgrade, was zu einer verminderten Nettostrahlung und Erwärmung führt. Durch das daraus resultierende zu niedrige Oxidantienpotential ist der ermittelte Klimaeffekt für Ozon als zu niedrig einzuschätzen. Die Evaluierung aller meteorologischen Größen ergab zudem, dass die modellierten Temperaturen im Mittel zu niedrig und die Windgeschwindigkeiten zu hoch sind.

Die ermittelten Abweichungen bewegen sich jedoch in einem vertretbaren Rahmen, um Schlussfolgerungen auf die zukünftige Luftqualität zu ziehen.

4 Klimasignal: Änderung der meteorologischen Bedingungen in der Zukunft

Als Antrieb für die Klimasimulationen im Projektionszeitraum 2021 bis 2050 wurde das pessimistischste aller vier RCP⁹-Szenarios genutzt. Es geht von einem hohen Bevölkerungswachstum, geringer Steigerung der Energieeffizienz, keiner zusätzlichen Klimaschutzpolitik und einer weiterhin starken Nutzung fossiler Energieträger aus. Die mit diesem Szenario ermittelten Ergebnisse können somit als Worst-Case-Szenario betrachtet werden, das aufgrund des Klimawandels eintreten könnte.

Die klimatischen Änderungen im Projektionszeitraum 2021-2050 werden aus dem Vergleich zum zurückliegenden Referenzzeitraum (1976-2005) ermittelt. Die stärkste Änderung zeigt dabei die Temperatur, die im langjährigen Mittelwert für Deutschland um 0,8 Grad Celsius ansteigt. Im Unterschied zur Temperatur sind die langjährigen mittleren Änderungen des Niederschlags¹⁰ nur sehr gering und können in Anbetracht der hohen Unsicherheiten bei der Niederschlagsmodellierung nicht als signifikante Klimaänderung eingestuft werden.

Die Änderungen der meteorologischen Variablen Windgeschwindigkeit, Wolkenbedeckungsgrad und Höhe der atmosphärischen Grenzschicht, die direkt als Eingangsgrößen für das Chemie-Transport-Modell verwendet werden, sind äußerst gering und zeigen allenfalls Tendenzen.

Die mit dem regionalen Klimamodell erstellten meteorologischen Felder für den Referenz- und Projektionszeitraum dienen als Eingangsdaten für das Chemie-Transport-Modell, mit dem zukünftige Schadstoffkonzentrationen von Ozon und Feinstaub simuliert werden.

7 COSMO-Climate Local Model, Consortium for Small-scale Modeling, <http://www.cosmo-model.org/>

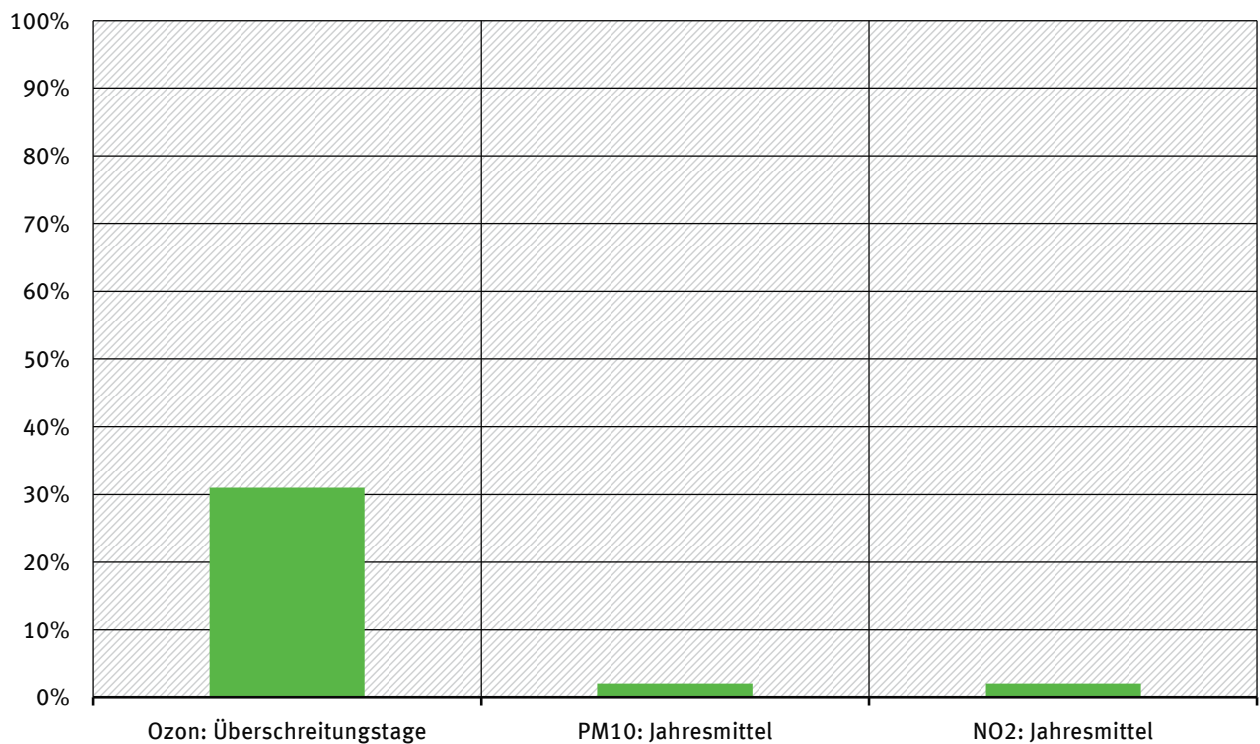
8 Chemisches Transportmodell REM-CALGRID, www.geo.fu-berlin.de/met/ag/trumf/Ausbreitungsmodelle/RCG-Beschreibung.pdf

9 RCP: Representative Concentration Pathways, anthropogener Strahlungsantrieb von 8,5 W/m² im Jahr 2100 aufgrund kontinuierlich steigender Treibhausgasemissionen (RCP 8.5)

10 Zunahme des Niederschlags um 1.3%

Abbildung 11

Relative Änderungen des langjährigen Flächenmittels zwischen Referenz- und Projektionszeitraum durch Klimaänderungen



Quelle: Abschlussbericht KLENOS

5 Mehr Ozon in Folge des Klimawandels

Um die Effekte des Klimawandels auf die Luftqualität ermitteln zu können, hält man die in das Modell einfließenden Schadstoffemissionen im Referenz- und Projektionszeitraum zunächst konstant (hier APS¹¹ 2005). Damit ist die berechnete Veränderung der zukünftigen Schadstoffkonzentrationen einzig und allein auf Effekte des Klimawandels zurückzuführen.

Abbildung 11 zeigt die Änderungen langjährig und flächendeckend gemittelter Schadstoffkonzentrationen im Projektionszeitraum 2021-2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1976-2005.

Bei den Ozon-Überschreitungstagen (Tage mit einem maximalen 8-Stundenmittelwert über dem Schwellenwert von 120 µg/m³) zeigt sich der Klimaeffekt deutlich. Demnach steigt die Anzahl der Überschreitungstage um über 30 Prozent.

Lokal, insbesondere in Süddeutschland, könnte es sogar zu Erhöhungen um 100 bis 200 Prozent kommen. Die Änderungen weiterer Ozon-Auswertegrößen (z. B. AOT40¹²) sind im deutschlandweiten Mittel sehr gering, lokal können allerdings Erhöhungen um bis zu zehn Prozent auftreten.

Mit einer vernachlässigbaren Zunahme von ca. zwei Prozent werden die mittleren Konzentrationen von PM₁₀ und NO₂ kaum vom Klimawandel beeinflusst¹³.

6 Trotz Klimawandels: weniger Ozon durch zukünftige Emissionsminderungen

In einem weiteren Modelllauf werden Feinstaub-, NO₂- und Ozonkonzentrationen modelliert, die nun zusätzlich von rückläufigen Schadstoffemissionen beeinflusst werden (APS¹¹ 2030). Gemäß diesem Emissionsszenario nehmen die Ozonvorläufer Stickstoffoxide (NO_x) und reaktive Kohlenwasserstoffe (NMVOC) bis 2030 in Deutschland um fast 50 Prozent bzw. 15 Prozent ab. Die Abnahme der PM₁₀-Emissionen ist mit knapp elf Prozent geringer (Abbildung 12).

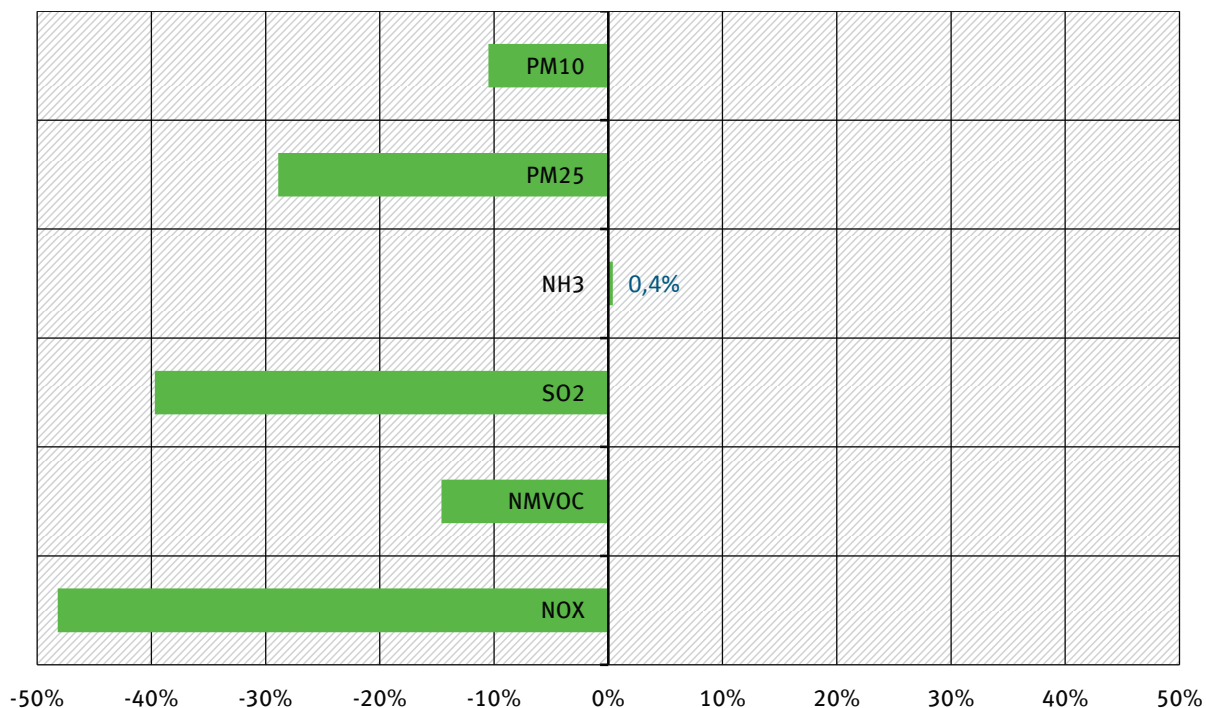
11 APS: Aktuelles Politik-Szenario des Jahres 2005/2030

12 AOT40: Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 Parts Per Billion

13 Dies gilt ebenfalls für eine regional differenzierte Auswertung.

Abbildung 12

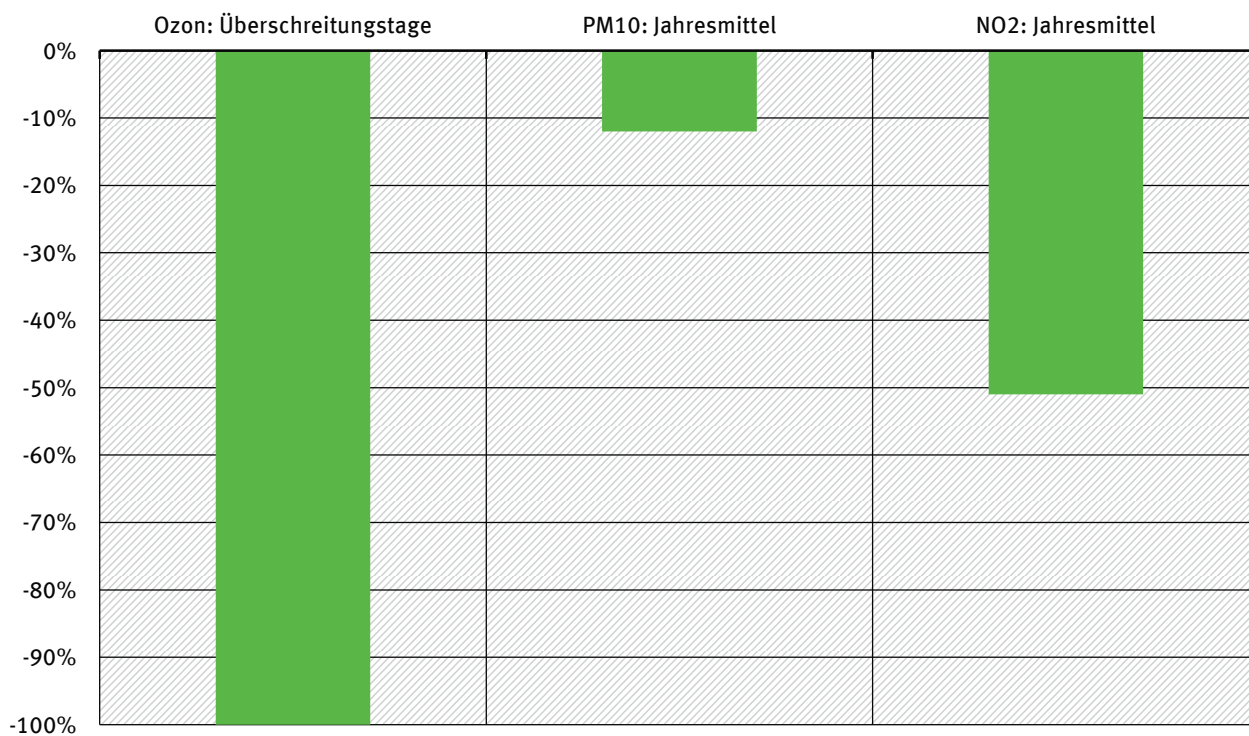
Relative Änderungen der gesamtdeutschen Emissionen von 2005-2030, APS 2030



Quelle: Abschlussbericht KLENOS

Abbildung 13

Relative Änderungen des langjährigen Flächenmittels zwischen Referenz- und Projektionszeitraum durch Klimaänderungen und Emissionsänderungen



Quelle: Abschlussbericht KLENOS

Analog zu Abbildung 11 zeigt Abbildung 13 die relativen Änderungen der zukünftigen mittleren Schadstoffkonzentrationen, die von Klimawandel und rückläufigen Emissionen beeinflusst werden.

Bei Ozon gibt es demnach mit einem Rückgang von nahezu 100 Prozent trotz Klimawandels kaum noch Überschreitungstage. Auch die mittlere Belastung durch Feinstaub und NO₂ geht deutlich zurück. Die abnehmenden Emissionen, vor allem die der Ozonvorläuferstoffe, überkompensieren somit die ozonbegünstigenden Wirkungen des Klimawandels. Auch andere Ozonauswertegrößen (z.B. AOT40) nehmen im Flächenmittel und regional differenziert ab.

Die Gegenüberstellung von Klimasignal und kombiniertem Klima- und Emissionssignal anhand der Box-Whisker-Plots in Abbildung 14 macht ebenfalls die Dominanz emissionsmindernder Maßnahmen auf die zukünftige Belastung der Luft durch alle drei Schadstoffe deutlich. Neben den zu erwartenden relativen Änderungen, die in Abbildung 11 und 13 dargestellt wurden, geben die Box-Whisker-Plots Auskunft über die absoluten Konzentrationswerte der beiden Szenarien im Vergleich zum Referenzzeitraum.

7 Schlussfolgerungen aus dem Projekt

Im Projekt KLENOS konnte aufgezeigt werden, dass emissionsmindernde Maßnahmen weiter forciert werden müssen, da nur so negativen Folgen des Klimawandels auf die zukünftige Luftqualität entgegenge wirkt werden kann.

Dabei werden die im Projekt projizierten Ozonwerte tendenziell eher unterschätzt, da großräumige Ozonhintergrundkonzentrationen, die für die Chemie-Transport-Modellierung benötigt werden, als konstant angenommen wurden. Beobachtungen an hemisphärischen Hintergrundstationen zeigen jedoch, dass diese Konzentrationen tendenziell zunehmen.

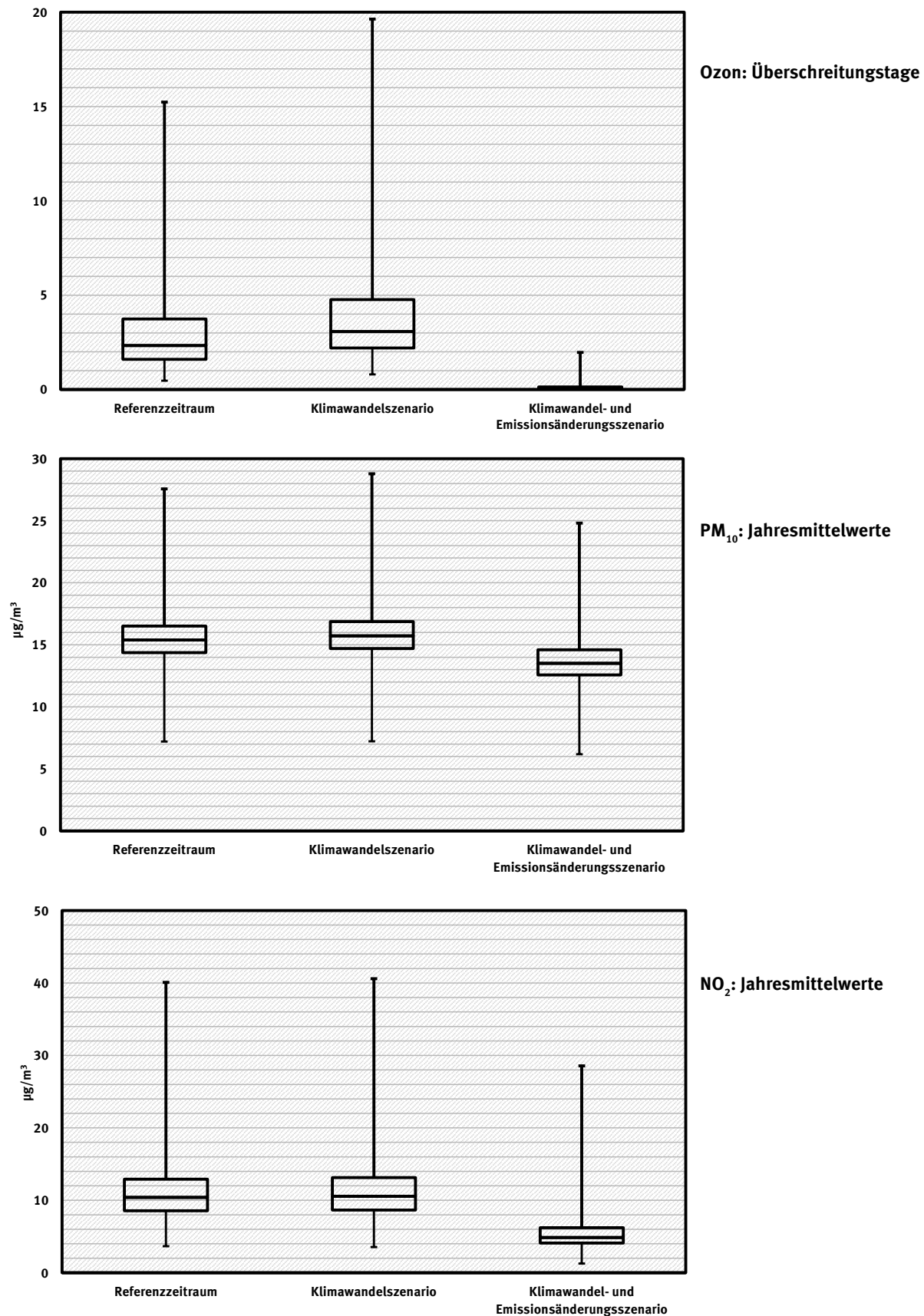
Die Evaluierung der Klimamodellergebnisse hat zudem gezeigt, dass die Modellergebnisse im Mittel zu kalt und zu feucht sind. Die Unterschätzung der Temperaturen sowie die Überschätzung von Wolkenbedeckungsgrad und Feuchte führten zu einem zu geringen Ozonbildungspotenzial. Ein Teil des durch die Emissionsminderungen zu erwartenden Ozonrückganges könnte damit aufgehoben werden.

Zudem ist zu beachten, dass der Projektionszeitraum bereits 2050 endet, da das erforderliche Emissions-szenario nur bis 2030 verfügbar war. Die Änderung der für die Luftqualität relevanten Klimaparameter wird sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts aber voraussichtlich noch deutlich verstärken.

Der komplette Bericht steht zum Download bereit unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klenos-einfluss-einer-aenderung-der-energiepolitik>

Abbildung 14

Box-Whisker-Plots der langjährigen Mittelwerte, dargestellt sind Minimum, 25%-Perzentil, Median, 75%-Perzentil und Maximum der 30-jährigen Mittelwerte



VI Weitere Informationen zum Thema

Aktuelle Luftqualitätsdaten: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>

Portal Luft und Luftreinhaltung: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/index.htm>

UBA-Kartendienst zu Luftschadstoffen: <http://gis.uba.de/Website/luft/index.html>

Entwicklung der Luftqualität in Deutschland: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/entwicklung.htm>



Information zum Schadstoff PM₁₀: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/feinstaub.htm>

Information zum Schadstoff NO₂: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/no.htm>

Information zum Schadstoff Ozon: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/ozon.htm>



► **Diese Broschüre als Download**
www.uba.de/publikationen

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt