



HINTERGRUND // JANUAR 2016

Luftqualität 2015

Vorläufige Auswertung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Inhalt

| | | |
|------------|--|-----------|
| I | Luftqualität 2015: Datengrundlage und Auswertemethodik | 4 |
| 1 | Luftqualität und Luftschadstoffe | 4 |
| 2 | Vorläufigkeit der Angaben | 4 |
| 3 | Ursachen der Luftbelastung | 5 |
| 4 | Einfluss der Umgebungsbedingungen: Konzentrationen im ländlichen und städtischen Hintergrund und verkehrsnahen Belastungen | 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 | Ozonwirkungen auf die Vegetation richtig bewerten – neue Verfahren zur Risikobeurteilung | 15 |
| VI | Weitere Informationen zum Thema | 21 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------------------|---|----|
| Abbildung 1: | Schematische Darstellung der Belastungsregime | 5 |
| Abbildung 2: | Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das PM ₁₀ -Tagesmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015 | 6 |
| Abbildung 3: | Mittlere Anzahl von PM ₁₀ -Überschreitungstagen (Tagesmittelwerte > 50 µg/m ³) pro Monat im jeweiligen Belastungsregime. Dargestellt für die Jahre 2015, 2011 und den Zeitraum 2005-2014 | 7 |
| Abbildung 4: | Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015 | 8 |
| Abbildung 5: | Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015 | 9 |
| Abbildung 6: | Überschreitung des Grenzwertes für das NO ₂ -Jahresmittel, Prozentualer Anteil der Messstationen mit Grenzwertüberschreitung im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015 | 10 |
| Abbildung 7: | Deutschlandkarte der maximalen 1-Stundenmittelwerte der Ozonkonzentration am 3. Juli 2015 | 11 |
| Abbildung 8: | Überschreitungsstunden der Informationsschwelle (180 µg/m ³) und der Alarmschwelle (240 µg/m ³) für bodennahes Ozon | 12 |
| Abbildung 9: | Ozonmessstationen mit Überschreitung bzw. Einhaltung des Zielwertes – Prozentualer Anteil seit 1995 | 13 |
| Abbildung 10: | Überschreitung des langfristigen Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit – Anteil der Stationen, die am jeweiligen Tag 120 µg/m ³ als 8-Stundenmittelwert überschritten | 13 |
| Abbildung 11: | Ozonmessstationen mit Überschreitung bzw. Einhaltung des Zielwertes für den Schutz der Vegetation – Prozentualer Anteil seit 1990 | 14 |
| Abbildung 12: | Relative Ozonempfindlichkeit von Kulturpflanzenarten ausgedrückt als relativer Ertrag bei 60 ppb Ozon gegenüber einem relativen Ertrag bei 30 ppb Ozon | 16 |
| Abbildung 13: | Ergebnisse der Risikokartierungen mit dem POD _v -Ansatz für die Rezeptoren Weizen, Klee, Buche und Fichte in den Jahren 2006 und 2010 | 18 |
| Abbildung 14: | POD ₆ für Ozon (Weizenertrag) in den Jahren 2006 (links) und 2010 (rechts) in Deutschland mit Berücksichtigung der Bodenfeuchte | 19 |
| Abbildung 15: | Räumliche Verteilung des Risikos von Zuwachsverlusten bei der Buche, 2010 in Deutschland, mit dem AOT40-Ansatz (links) und dem POD ₁ -Ansatz (rechts), jeweils mit Berücksichtigung der Bodenfeuchte (oben) und ohne Berücksichtigung der Bodenfeuchte (unten) | 19 |



I Luftqualität 2015: 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 2015 in Deutschland basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, Stand 20.01.2016. Aufgrund der umfangreichen Qualitätssicherung in den Messnetzen stehen die endgültigen Daten erst Mitte 2016 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 (PM₁₀ und PM_{2,5}), Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Ozon (O₃), 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. Zwischenjährliche Schwankungen in der Luftbelastung werden in erster Linie durch diese unterschiedlichen Witterungsbedingungen verursacht. Sie überlagern daher den Einfluss der eher langfristigen Entwicklung der Emissionen.

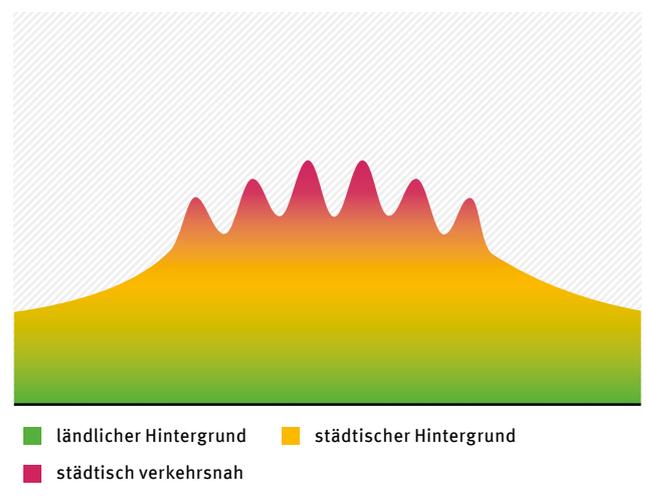
4 Einfluss der Umgebungsbedingungen: Konzentrationen im ländlichen und städtischen Hintergrund und verkehrsnahe Belastungen

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationswerte als so genannte »Belastungsregime« zusammen-

gefasst. 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 PM10, Atmospheric Environment 35 (2001) S23–S33

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

1 PM₁₀-Tagesmittelwerte

Die Feinstaubbelastung fällt 2015 geringer aus im Vergleich zu 2005–2014. 2015 gehört zu den am wenigsten belasteten Jahren. An zwei verkehrsnahen Luftmessstationen traten in Deutschland an mehr als 35 Tagen Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ auf und somit Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes. Auch in den Vorjahren traten die Grenzwertüberschreitungen fast ausschließlich an verkehrsnahen Messstationen auf, wie aus Abbildung 2 ersichtlich (rote Balken). Die Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO³) wurde an 77 Prozent aller Stationen nicht eingehalten.

EU-Grenzwert

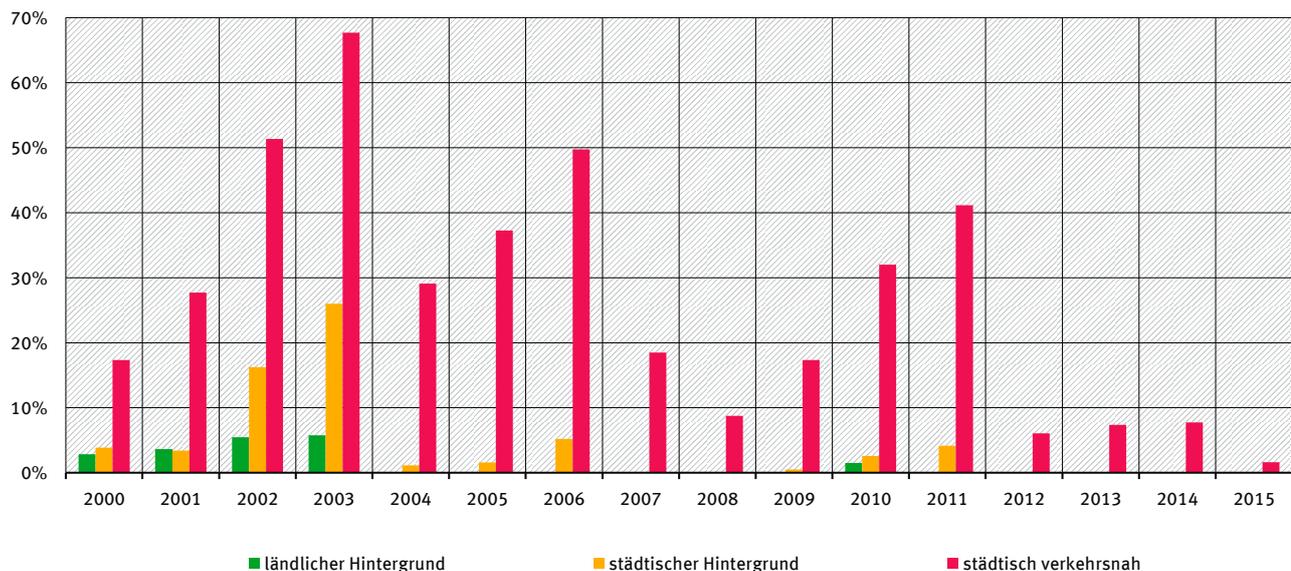
Der PM₁₀-Tagesmittelwert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr 50 µg/m³ überschreiten.

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 2000-2015



Quelle: Umweltbundesamt 2016

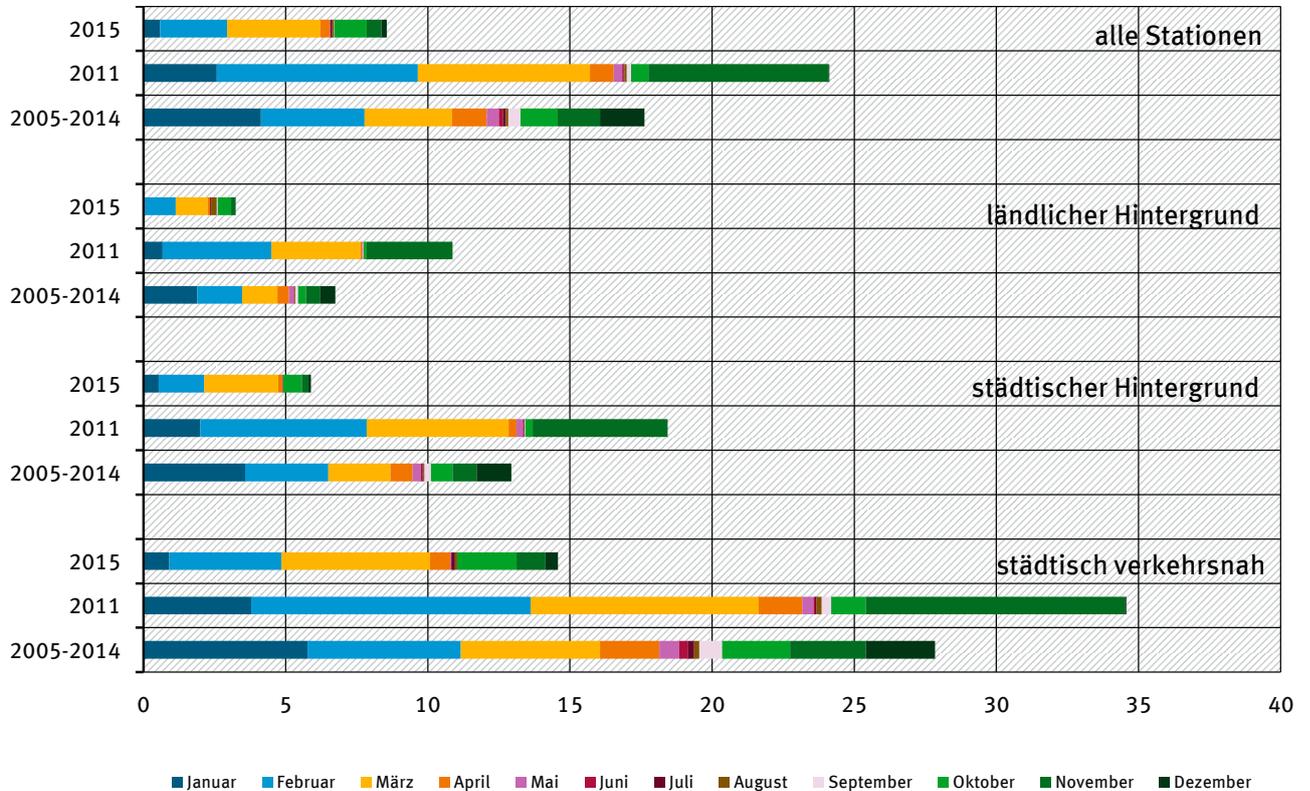
Die Abbildung 3 zeigt auf, wie viele Überschreitungstage im Mittel pro Monat registriert wurden. Das Jahr 2015 wird hier dem aufgrund des häufigen Auftretens kalter, stabiler Hochdruckwetterlagen hochbelasteten Jahr 2011 und einem längeren Referenzzeitraum (2005–2014) gegenübergestellt. Es wird

deutlich, dass im Jahr 2011 bereits im Februar mehr Überschreitungstage gezählt wurden, als 2015 im ganzen Jahr. Auch der langjährige Vergleich zeigt, dass 2015 ein Jahr mit geringer Feinstaubbelastung war, in dem Überschreitungstage hauptsächlich im Zeitraum Februar bis März 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 2015, 2011 und den Zeitraum 2005-2014



Quelle: Umweltbundesamt 2016

2 PM₁₀-Jahresmittelwerte

Der PM₁₀-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde im Jahr 2015 deutschlandweit eingehalten. 35 Prozent, also mehr als ein Drittel aller Messstationen wiesen jedoch Werte oberhalb des von der WHO vorgeschlagenen Luftgüteleitwertes auf. Davon waren mehr als zwei Drittel verkehrsnaher Messstationen.

Wie schon im Vorjahr, blieben auch 2015 extreme, feinstaubbegünstigende Wetterlagen aus, wie sie beispielsweise im Frühjahr und Herbst 2011 beobachtet wurden. 2015 war ein überdurchschnittlich warmes Jahr, zehn von zwölf Monaten waren zu warm, einschließlich aller eigentlich feinstaubintensiven Wintermonate⁴. Langfristig betrachtet war 2015 daher eines der am wenigsten belasteten Jahre (Abbildung 4). Einhergehend mit großräumigen Min-

EU-Grenzwert

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

WHO-Empfehlung

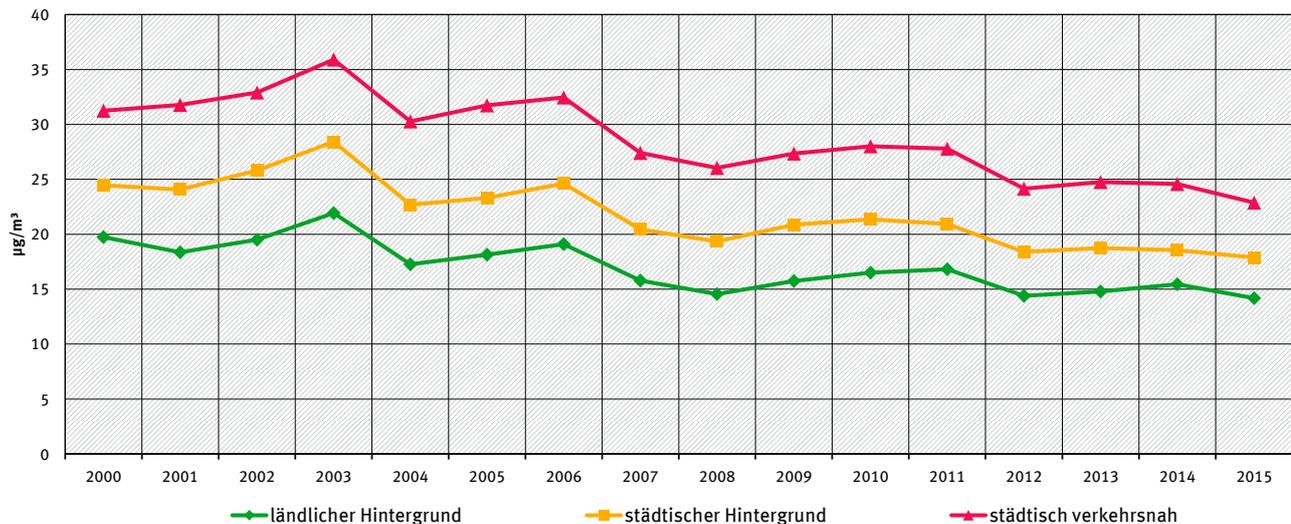
Der PM₁₀-Jahresmittelwert sollte 20 µg/m³ nicht überschreiten.

derungen der PM₁₀-Emissionen weisen die PM₁₀-Jahresmittelwerte in allen Belastungsregimen über den gesamten Beobachtungszeitraum 2000 bis 2015 eine deutliche Abnahme auf. Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährliche Schwankungen geprägt, vor allem wegen der unterschiedlichen Witterungsverhältnisse.

⁴ DWD-Pressemitteilung vom 30.12.2015 - Deutschlandwetter im Jahr 2015, www.dwd.de

Abbildung 4

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte* Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015



* Ausgewählt wurden diejenigen Stationen, die über einen längeren Zeitraum hinweg gemessen haben. Beispiel: Im städtisch verkehrsnahen Bereich muss eine Station in mindestens 9 Jahren NO₂ gemessen haben, damit die Daten in die Berechnung einfließen.

Quelle: Umweltbundesamt 2016

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 2015 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 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 2015 (Mittelwert der Jahre 2013, 2014, 2015) betrug der AEI 14,1 µg/m³. Innerhalb der modellierten Szenarien des UBA-Projektes »Luftqualität 2020/2030«⁵ 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 im Jahr 2015 war ähnlich hoch im Vergleich zu 2000-2014. 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 2000-2015 an allen Messstationen im Jahresmittel auf einem gleichbleibendem Niveau von 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 übersteigt 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 Auswertung noch nicht vor. Mit dem jetzigen Stand der Daten überschritten 50 Prozent der verkehrsnahen Messstati-

EU-Grenzwert

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

WHO-Empfehlung

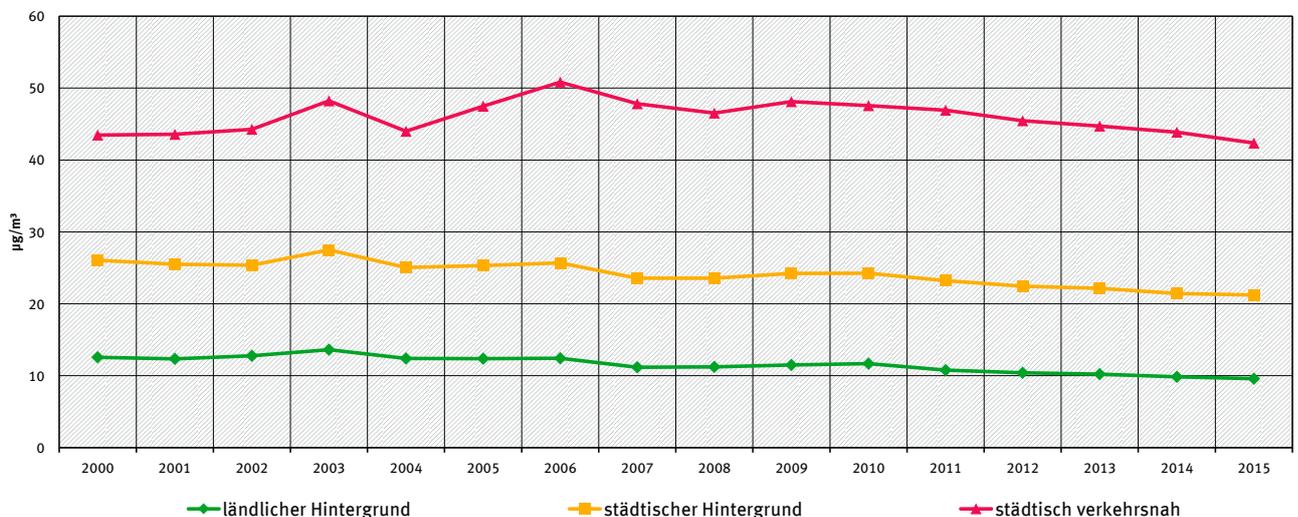
Die Empfehlung der WHO entspricht dem EU-Grenzwert.



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 2000-2015



* Ausgewählt wurden diejenigen Stationen, die über einen längeren Zeitraum hinweg gemessen haben. Beispiel: Im städtisch verkehrsnahen Bereich muss eine Station in mindestens 10 Jahren PM₁₀ gemessen haben, damit die Daten in die Berechnung einfließen.

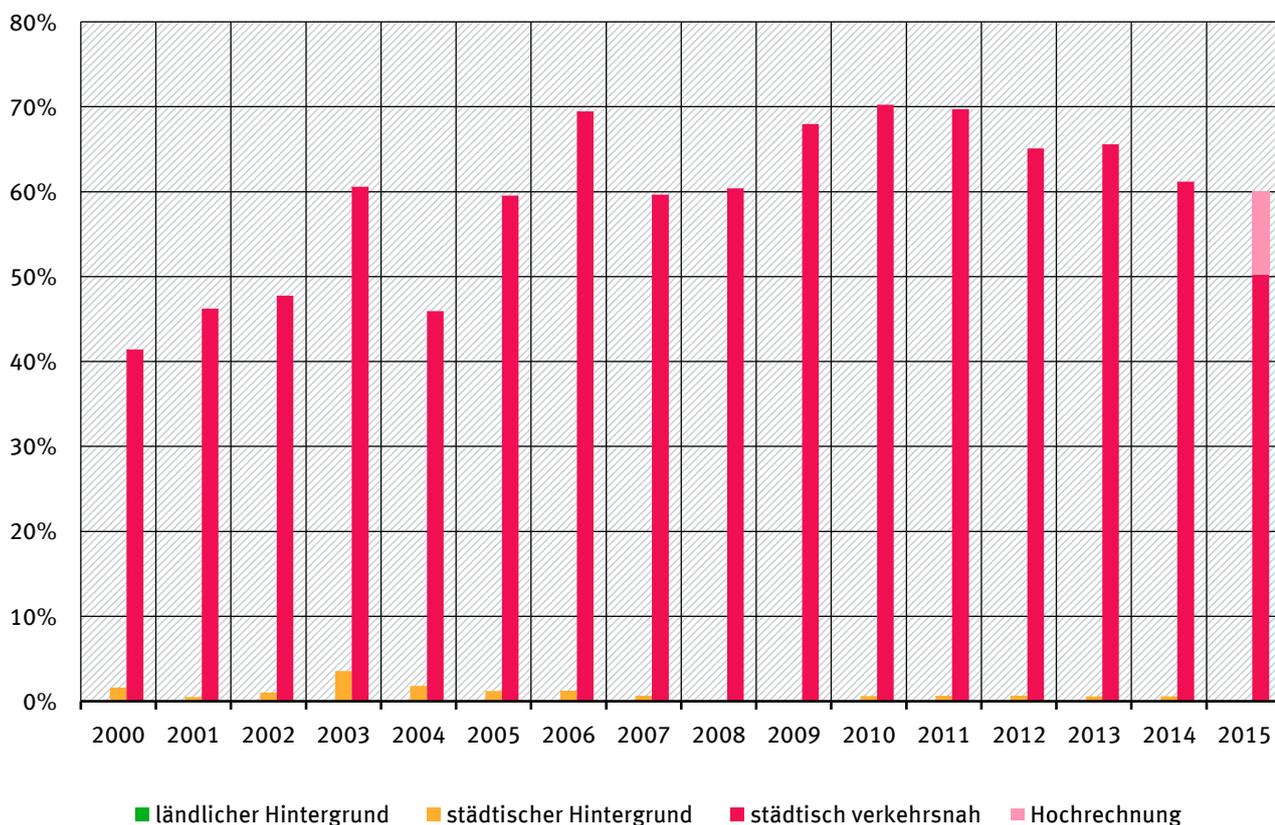
Quelle: Umweltbundesamt 2016

onen 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 2015 auf ca. 60 Prozent.

Abbildung 6

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Grenzwertes für das NO₂-Jahresmittel im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2015



Quelle: Umweltbundesamt 2016

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 2015 an ca. 2 Prozent aller verkehrsnahen Stationen. In den Vorjahren war die Situation ähnlich.

An 22 Prozent aller verkehrsnahen Messstationen wurde der WHO-Empfehlung 2015 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.

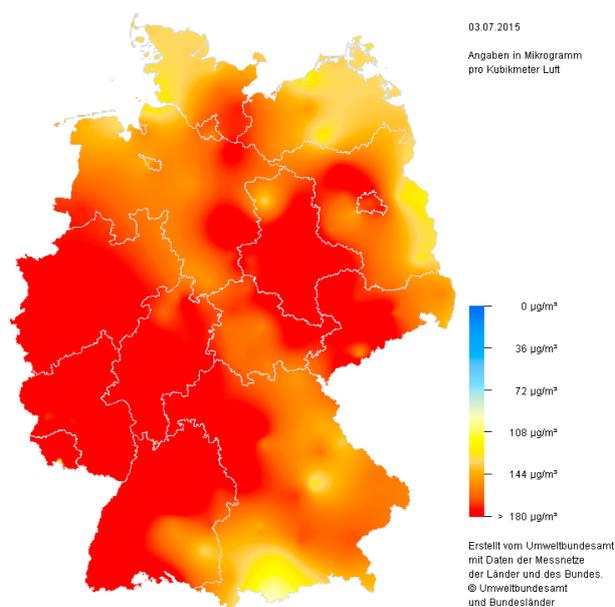
IV Bodennahes Ozon: Die Luftreinhaltepolitik greift – dennoch keine Entwarnung

Der Sommer 2015 war durch außergewöhnlich heiße und trockene Wetterphasen geprägt. In diesen Schönwetterperioden mit zum Teil extremen Temperaturen wurden an den Messstationen seit langem wieder hohe Ozonkonzentrationen beobachtet. Der deutschlandweit höchste 1-Stundenmittelwert von $283 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde am 3. Juli 2015 an der Station Wiesbaden-Süd gemessen. Das war der höchste Messwert seit dem Hitzesommer 2003.

Die stärkste Ozonbelastung trat im Zeitraum vom 1. bis 5. Juli auf. Die Karte vom 3. Juli zeigt, dass während dieses Zeitraums ganz Deutschland von hohen Konzentrationen betroffen war. An diesem Tag wurden an 111 Stationen (ca. 43 Prozent aller Stationen) insgesamt über 500 1-Stundenmittelwerte über dem Informationsschwellenwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet. In jedem Bundesland gab es dabei mindestens eine Überschreitung. Die stärksten Belastungen traten an diesem Tag in Nordrhein-Westfalen, Hessen, Baden-Württemberg und dem Saarland auf.

Abbildung 7

Deutschlandkarte der maximalen 1-Stundenmittelwerte der Ozonkonzentration am 3. Juli 2015



Die vom Umweltbundesamt zusammengestellten Karten und Daten zur aktuellen Immissionssituation dienen der orientierenden Information der Bevölkerung. Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.

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

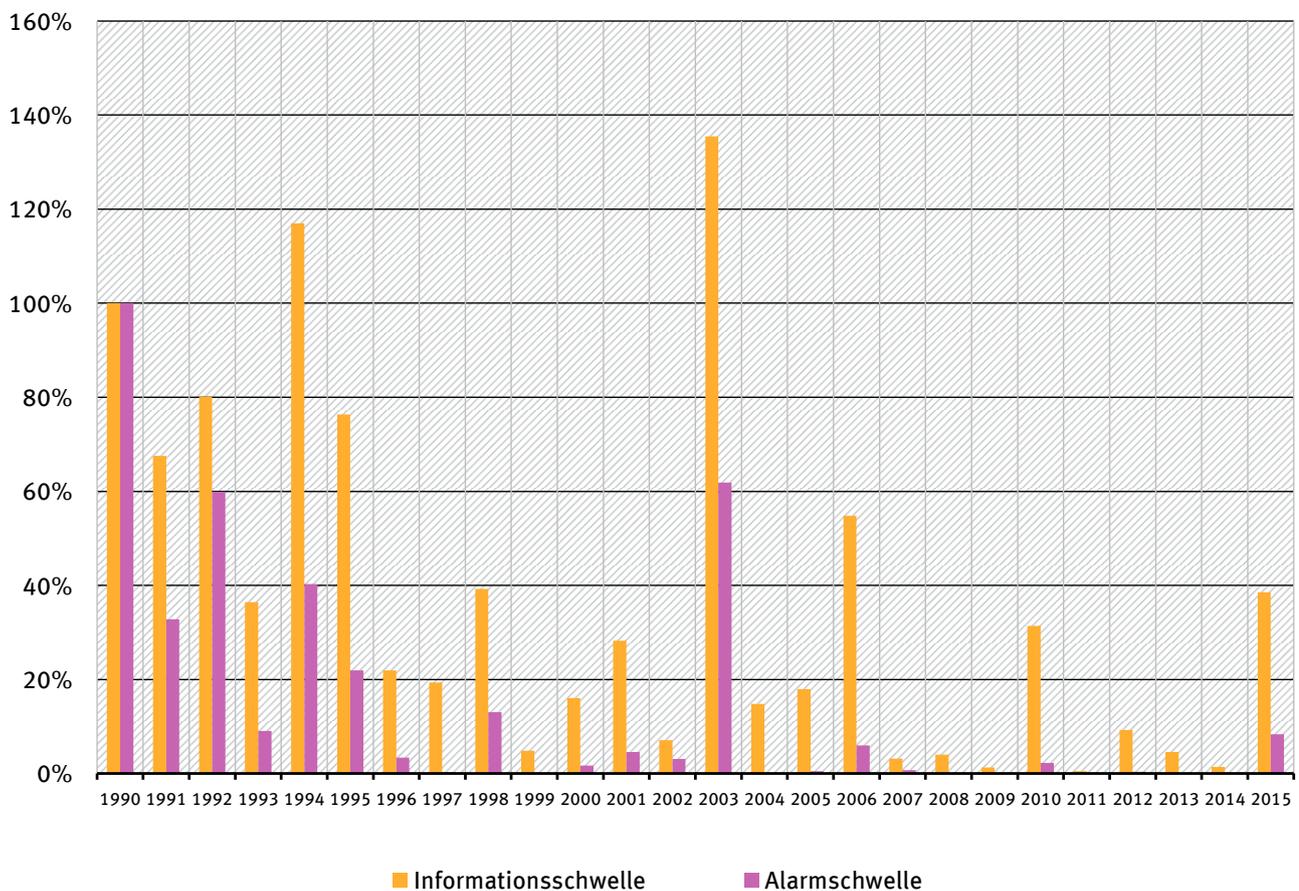
Im Sommer 2015 traten auch Überschreitungen der Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die in den letzten 10 Jahren kaum noch erreicht wurde, auf. An vier Tagen wurden an 19 Stationen insgesamt 44 1-Stundenmittelwerte über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

Wie Abbildung 8 zeigt, war der Sommer 2015 im Vergleich zu den letzten 10 Jahren überdurchschnittlich mit Ozon belastet, kommt aber an die hohe Belastung, wie sie Anfang der 1990er Jahre auftrat, nicht heran.⁶ Grund für die Abnahme der Ozonspitzenwerte bereits in den 1990er Jahren ist der verringerte Ausstoß von Ozonvorläuferstoffen. Verglichen mit dem Jahr 1990 sind die Emissionen der Ozon-

vorläuferstoffe wie Stickstoffoxide aus dem Straßenverkehr und aus Feuerungsanlagen sowie flüchtige organische Verbindungen aus Farben, Lacken und Reinigungsmitteln, in Deutschland bis zum Jahr 2013 um 56 beziehungsweise 66 Prozent zurückgegangen. Den aus den 1990er-Jahren bekannten Sommersmog gibt es selbst in solch außergewöhnlichen Sommern wie 2015 nicht mehr.

Abbildung 8

Überschreitungsstunden der Informationsschwelle (180 µg/m³) und der Alarmschwelle (240 µg/m³) für bodennahes Ozon (relativ zum Jahr 1990 und zur Zahl der jeweils betriebenen Messstationen)



Quelle: Umweltbundesamt 2016

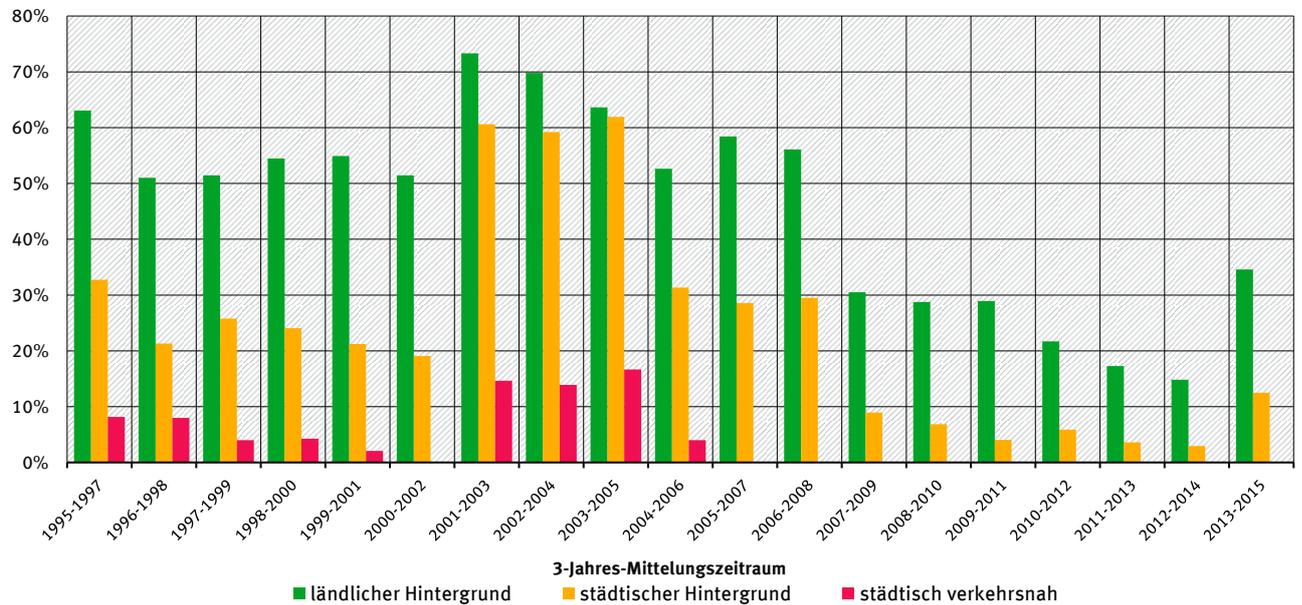
Die Anstrengungen Deutschlands, die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe weiter zu mindern, müssen dennoch fortgeführt werden, denn der langfristige Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (120 µg/m³ als 8-Stundenmittelwert) wird nahezu deutschlandweit nicht eingehalten. Eine Auswertung hinsicht-

lich des Ozon-Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit zeigt, dass im letzten Mittelungszeitraum, der die Jahre 2013, 2014 und 2015 abbildet, 13 Prozent der Stationen im städtischen Hintergrund und 35 Prozent der Stationen im ländlichen Hintergrund diesen Zielwert (Abbildung 9) überschritten.

⁶ Der Ozonsommer 2003 ist hinsichtlich der Spitzenwerte ein Sonderfall. Im Sommer 2003 wurde eine außergewöhnlich lang anhaltende Wettersituation beobachtet, welche die Ozonbildung begünstigte.

Abbildung 9

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Gesundheit, Zeitraum 1995 bis 2015 (jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 3 Jahre)



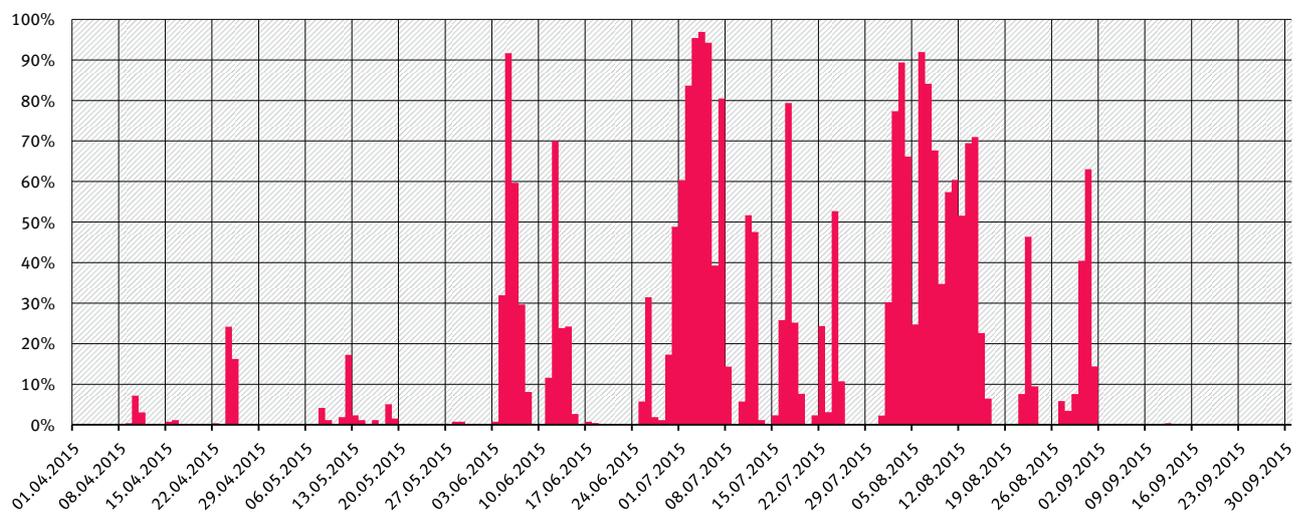
Quelle: Umweltbundesamt 2016

Abbildung 10 verdeutlicht, dass es im Sommer 2015 immer wieder Zeiträume gab, in denen ein Großteil der Stationen den langfristigen Zielwert überschritt. An einigen Tagen Anfang Juli wurden an fast allen

Stationen in Deutschland Werte über 120 µg/m³ beobachtet. Der von der WHO vorgeschlagene Schwellenwert von 100 µg/m³ wird flächendeckend in Deutschland nicht eingehalten.

Abbildung 10

Überschreitung des langfristigen Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit – Anteil der Stationen, die am jeweiligen Tag 120 µg/m³ als 8-Stundenmittelwert überschritten



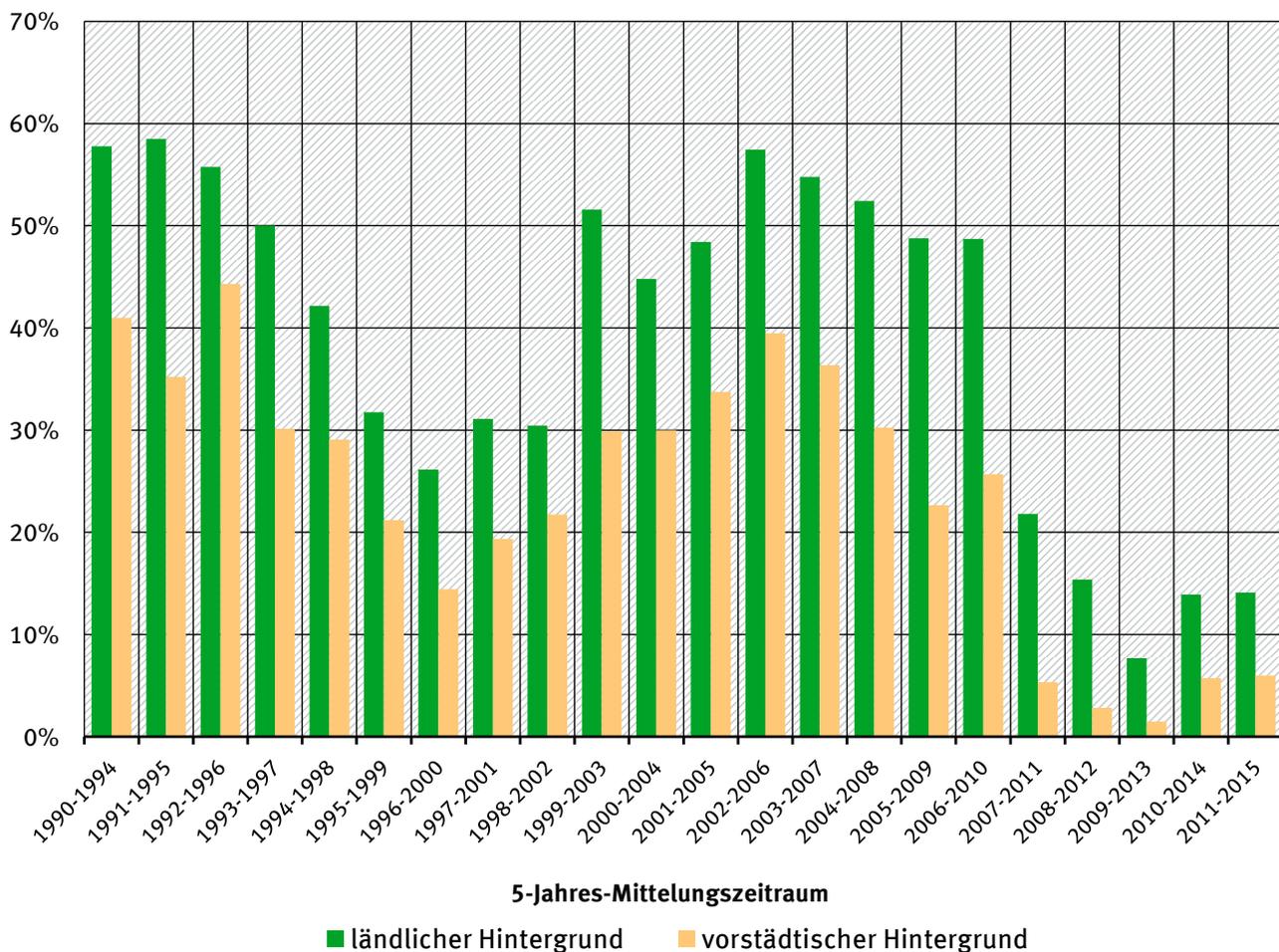
Quelle: Umweltbundesamt 2016

Für die Ermittlung der Zielwerte für den Schutz der Vegetation (AOT40) werden gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie nur die ca. 160 Messstationen außerhalb von Städten herangezogen. Für den Zielwert (einzuhalten seit dem Jahr 2010) ist eine Mittelung über fünf Jahre vorgesehen. Der Zielwert für den letzten Mittelungszeitraum von 2011 bis 2015 wurde an 15 Stationen hauptsächlich im ländlichen Hintergrund überschritten. In den letzten acht Jahren traten verhältnismäßig wenige Überschreitungen des

Zielwerts auf, wie Abbildung 11 zeigt. Diese Verbesserung bedeutet 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, der 2015 lediglich an neun der 161 Messstationen (= 6 Prozent) knapp eingehalten wurde. Die Methoden der Wirkungsbewertung für Ozon werden derzeit weiterentwickelt; darüber informiert das nachfolgende Kapitel.

Abbildung 11

Prozentualer Anteil der Messstationen mit Überschreitung des Zielwertes für den Schutz der Vegetation, Zeitraum 1990 bis 2015
(jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 5 Jahre)



Quelle: Umweltbundesamt 2016

V Ozonwirkungen auf die Vegetation richtig bewerten – neue Verfahren zur Risikobeurteilung

Einführung

Seit langem ist bekannt, dass Ozon in der Luft nicht nur gesundheitsschädlich für Menschen ist, sondern Lebewesen insgesamt beeinträchtigt. So beobachteten zum Beispiel Landwirte in den Jahren 1951-1955 in Nordamerika fleckige Blätter an Tabakpflanzen, die sie für die weitere Nutzung unbrauchbar machten (Heggstad 1966). Ähnliche Schadsymptome wurden besonders nach heißen, sonnigen Witterungsperioden auch an anderen Kulturpflanzen gefunden. Wissenschaftliche Untersuchungen entlarvten bereits in den späten 1950er Jahren erhöhte Ozonkonzentrationen in der bodennahen Luftschicht als Ursache für diese sichtbaren Blattschäden (Hayes et al. 2007).

Daraufhin setzten Wissenschaftler auch zahlreiche andere landwirtschaftliche und gärtnerische Kulturen in Untersuchungskammern unterschiedlichen Ozonkonzentrationen aus, um herauszufinden, welche Pflanzen empfindlich auf erhöhte Konzentrationen des bodennahen Ozons reagieren, die Wirkungsmechanismen des Ozons (siehe Kasten) näher zu erforschen und Dosis-Wirkungsbeziehungen abzuleiten.

Inzwischen ist bekannt, dass auch viele Wildkräuter, Bäume und Sträucher ozonempfindlich sind, darunter auch in Deutschland heimische und stark gefährdete Arten. Neue Studien zeigen, dass die biologische Vielfalt insgesamt und ökologische Funktionen naturnaher Ökosysteme durch die Wirkungen bodennahen Ozons beeinträchtigt werden können (Hayes et al. 2007, Mills et al. 2013, Bergmann et al. 2015).

Die Wirkungen von Ozon auf die Vegetation können mit unterschiedlichen Methoden bewertet werden. Im Folgenden werden die beiden, für nationale und lokale Risikobewertungen gebräuchlichsten Ansätze kurz vorgestellt, der AOT40-Ansatz und der POD_Y-Ansatz. Der bisher gebräuchliche AOT40-Ansatz, den auch die europäische Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG zugrunde legt, kann das tatsächliche Risiko nicht präzise abbilden, weshalb grundsätzlich der POD_Y-Ansatz zu bevorzugen ist. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die erforderlichen Eingangsdaten zur Verfügung stehen.

Bodennahes Ozon gelangt beim Gasaustausch zwischen Vegetation und Atmosphäre über die Spaltöffnungen (griechisch: Stomata) in die Pflanzen. Es wirkt stark oxydierend auf pflanzliche Gewebe. Das kann Pflanzenzellen und Stoffwechselfunktionen verändern, z. B. die Photosynthese mindern. Es lassen sich akute Wirkungen (z. B. sichtbare Blattschäden [Abbildung unten links]), chronische Wirkungen (z. B. Ertragseinbußen [Abbildung unten rechts], Verformungen und vorzeitige Alterung) sowie latente Wirkungen unterscheiden. Letztere sind nicht äußerlich sichtbar, die zuvor genannten Symptome treten erst auf, wenn noch andere Stressfaktoren wie Trockenheit oder Insektenbefall einwirken.



Sichtbare Blattschäden bei der Kartoffel
Bild: Thünen-Institut für Biodiversität



Wachstumsstörung und beschleunigte Blattalterung durch steigende Ozonkonzentrationen beim Weizen
Bild: Thünen-Institut für Biodiversität

Wirkungsbewertung des bodennahen Ozons über Ozonkonzentrationen in der Luft mit der AOT40-Methode

In wissenschaftlichen Experimenten hatte sich gezeigt, dass Pflanzen besonders dann Schäden durch Ozon davontragen, wenn sie bei optimaler Wasserversorgung über längere Zeit Ozonkonzentrationen in der Luft über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgesetzt (exponiert) sind. Das entspricht in der englischen Masseneinheit „parts per billion“ 40 ppb. Auf der Grundlage von Experimenten mit Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen wurden Expositions-Wirkungsfunktionen und daraus kritische Belastungsgrenzen (englisch: Critical Levels) abgeleitet, die je nach Pflanzenart oder Vegetationstyp unterschiedlich hoch sind.

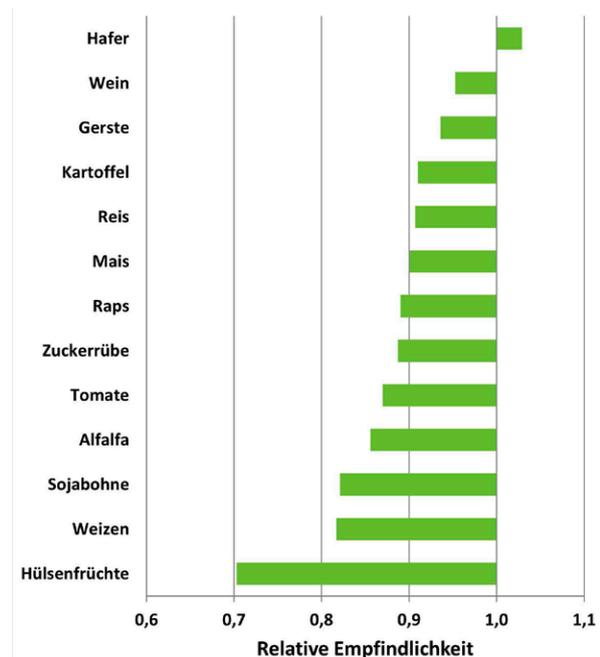
Die Critical Levels und ihre Überschreitungen werden wie folgt berechnet: Für Zeitabschnitte mit intensivem Pflanzenwachstum wird die Ozonkonzentration in Vegetationshöhe ermittelt. In diesen Lebensabschnitten sind Pflanzen besonders ozonempfindlich. Je nach Pflanzenart sind unterschiedliche Zeitfenster zu berücksichtigen. Für alle Ozonkonzentrationswerte während der Tageslichtstunden mit einer Globalstrahlung größer als $50 \text{ W}/\text{m}^2$, die oberhalb der Schwelle von 40 ppb liegen, wird die Differenz zu 40 ppb ermittelt und über die betrachtete Zeitperiode aufsummiert. Diese Summe von Überschreitungen des Schwellenwertes, im Englischen bezeichnet als „Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb“, entspricht dem Wert AOT40 in der Maßeinheit $\text{ppm} \cdot \text{h}$. Das langfristige Ziel der EU von $3 \text{ ppm} \cdot \text{h}$ entspricht der kritischen Belastungsgrenze, ab der bei Weizen mit Ertragsverlusten zu rechnen ist. Weil Weizen relativ empfindlich auf Ozon reagiert (Abbildung 12), verwendete die Europäische Union diesen Wert stellvertretend für andere Arten zum Schutz der Vegetation insgesamt.

So liegen zum Beispiel die AOT40 für Tomaten (stellvertretend für gärtnerische Kulturen) bei $6 \text{ ppm} \cdot \text{h}$, für Waldbäume bei $5 \text{ ppm} \cdot \text{h}$.

Ein Nachteil der AOT40-Methode besteht darin, dass sie nicht berücksichtigt, wann die Spaltöffnungen überhaupt geöffnet sind und damit ein Eindringen von Ozon in die Pflanze ermöglichen. Die Spaltöffnungen regulieren den Gasaustausch der Pflanzen

Abbildung 12

Relative Ozonempfindlichkeit von Kulturpflanzenarten ausgedrückt als relativer Ertrag bei 60 ppb Ozon gegenüber einem relativen Ertrag bei 30 ppb Ozon



Hülsenfrüchte (Bohnen und Erbsen) sind am empfindlichsten. 1,0 bedeutet „kein Effekt“.

Quelle: Literaturlauswertung, ICP Vegetation⁷

und ihre Verdunstung. Bei heißem, trockenem Wetter und mangelndem Wassernachschub aus dem Boden schließen sie sich und schützen dadurch die Pflanze vor dem Vertrocknen. Weil die Ozonbildung bei starker Sonneneinstrahlung tendenziell zunimmt, treten hohe Ozonkonzentrationen besonders in Schönwetterperioden auf, die häufig mit hohen Temperaturen sowie niedriger Luft- und Bodenfeuchte verbunden sind. Pflanzen, die nicht künstlich bewässert werden, sind in diesen Phasen durch die geschlossenen Spaltöffnungen relativ gut gegen Ozonschäden geschützt. Werden diese Schutzmechanismen der Pflanzen gegen Austrocknung wie im AOT-Ansatz nicht berücksichtigt, nimmt bei europäischen Risikoanalysen die Gefährdung der Vegetation systematisch von Nordeuropa in Richtung Südeuropa zu. Dieser Gradient wird durch Beobachtungen aber nicht bestätigt (Hayes et al. 2007). Umgekehrt können beobachtete Vegetationsschäden durch Ozon an relativ nördlichen Standorten (Deutschland, Schweden, Russland) oft nicht durch hohe AOT40-Werte erklärt werden.

Wirkungsbewertung über die tatsächliche Ozonaufnahme mit der POD_Y -Methode

Basierend auf langjähriger Forschung mit verbesserten technischen Möglichkeiten wurde eine neue Bewertungsmethode entwickelt, die die tatsächlich wirkungsrelevante, also für Pflanzen toxische Ozondosis berücksichtigt. Die Abkürzung **POD** bedeutet **Phytotoxic Ozone Dose** (vor 2010 wurde sie als $AF_{st,Y}$ – akkumulierter stomatärer Ozonfluss über einem Schwellenwert von Y – bezeichnet). Der POD_Y -Ansatz berücksichtigt andere Ozon-Konzentrationsbereiche und andere Akkumulationszeiträume als der AOT40-Ansatz. Vor allem bezieht die Berechnungsvorschrift für den POD_Y aber meteorologische Größen ein, die das Öffnungsverhalten der Spaltöffnungen und damit den Ozonfluss in die Pflanzen beeinflussen.

Der Ozonfluss durch die Spaltöffnungen kann nicht direkt gemessen, sondern nur modelliert werden. Wie beim konzentrationsbasierten Ansatz sind auch bei der flussbasierten Methode zunächst die Ozonkonzentrationen während der Tageslichtstunden in Vegetationshöhe zu messen oder rechnerisch zu bestimmen. Für jede dieser Stunden ist auch die Leitfähigkeit der Spaltöffnungen (stomatäre Leitfähigkeit) zu ermitteln, wobei das Entwicklungsstadium der Pflanzen, Lichteinstrahlung und Temperatur, Wasserdampfdruck und Bodenfeuchte berücksichtigt werden.

Die stomatäre Leitfähigkeit wird dann für jede Stunde mit der Ozonkonzentration verrechnet, um den stomatären Ozonfluss (F_{st}) zu bestimmen. Von diesem wird ein in Wirkungsexperimenten bestimmter Schwellenwert Y für weitgehend unschädlichen Ozonfluss abgezogen. Mit diesem Wert Y , der je nach Pflanzenart unterschiedlich hoch ist (z. B. hat er bei Weizen den Wert von 6, bei Waldbäumen dagegen den Wert von 1), werden die Selbstheilungskräfte der Pflanzen berücksichtigt.

Die Summe aller F_{st} über dem Wert Y in der betrachteten Zeitperiode ergibt die phytotoxische Ozondosis POD_Y . Sie wird in Millimol je Quadratmeter projizierter Blattfläche (**PLA** – **Projected Leaf Area**) und Jahr [$mmol O_3/(m^2 \cdot a)$, auch $mmol O_3/(m^2 \cdot yr)$] angegeben. Ist diese größer als der mit Hilfe von Dosis-Wirkungsfunktionen abgeleitete Belastungsgrenzwert, das heißt bei Überschreitung des Critical Levels, besteht

ein konkretes Risiko für die betrachteten Pflanzen.⁸ Vergleiche der Critical Level-Überschreitungen für Europa mit Beobachtungen tatsächlicher Ozonwirkungen belegen, dass der POD_Y -Ansatz die Risiken sehr viel realistischer abbildet als der AOT40-Ansatz (Hayes et al. 2007).

Risiken für die Vegetation durch bodennahes Ozon in Deutschland

Vergleicht man die Schwellenwerte für Ozonkonzentrationen, bei denen schädliche Wirkungen auf Pflanzen auftreten mit denen für gesundheitliche Wirkungen (siehe Kapitel IV) wird klar, dass bereits relativ niedrige Konzentrationen für Pflanzen kritisch sein können, wenn sie über einen längeren Zeitraum einwirken. Allerdings hängt das Risiko wesentlich von der Witterung ab, wie die Abbildung 11 in Kapitel IV verdeutlicht. So wurde der Zielwert zum Schutz der Vegetation in den 5-Jahresabschnitten, in die besonders warme und sonnenscheinreiche Jahre wie 2003 und 2006 einfließen, an deutlich weniger ländlichen Messstationen eingehalten als in späteren Jahren, obwohl sich die Emission der Ozonvorläuferstoffe nicht drastisch unterschied. Die langfristigen Zielwerte in Höhe der AOT40-Critical Levels für Weizen werden bisher ohnehin kaum eingehalten.

In einem Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes berechneten Bender et al. (2015) für die Jahre 2006 und 2010 die Risiken für die Vegetationstypen Ackerfrüchte (repräsentiert durch Weizen), Wald (Buche und Fichte) sowie Grünland (Klee) flächendeckend für Deutschland. Um die Ozonkonzentrationen zu kartieren, verwendeten sie das Chemische Transportmodell LOTOS-EUROS. Dieses berechnet ausgehend von Emissionsdaten der Ozonvorläuferstoffe unter Verwendung von Daten zur Meteorologie, Landnutzung und anderen Informationen die Ozonbildung in der Atmosphäre, den atmosphärischen Schadstofftransport und die daraus resultierenden Ozonkonzentrationen beziehungsweise Ozonflüsse in die Pflanzen.

Die Risikobewertungen führten sie sowohl mit dem AOT40- als auch mit dem POD_Y -Ansatz durch und zwar jeweils mit und ohne Berücksichtigung des schwer für flächenhafte Aussagen bestimmbar, aber für die stomatäre Leitfähigkeit sehr wichtigen Parameters Bodenfeuchte. Einen Überblick über die

⁸ Details der Methoden siehe Kartierungshandbuch der Genfer Luftreinhaltekonvention, Kapitel 3 unter http://icpvegetation.ceh.ac.uk/manuals/mapping_manual.html

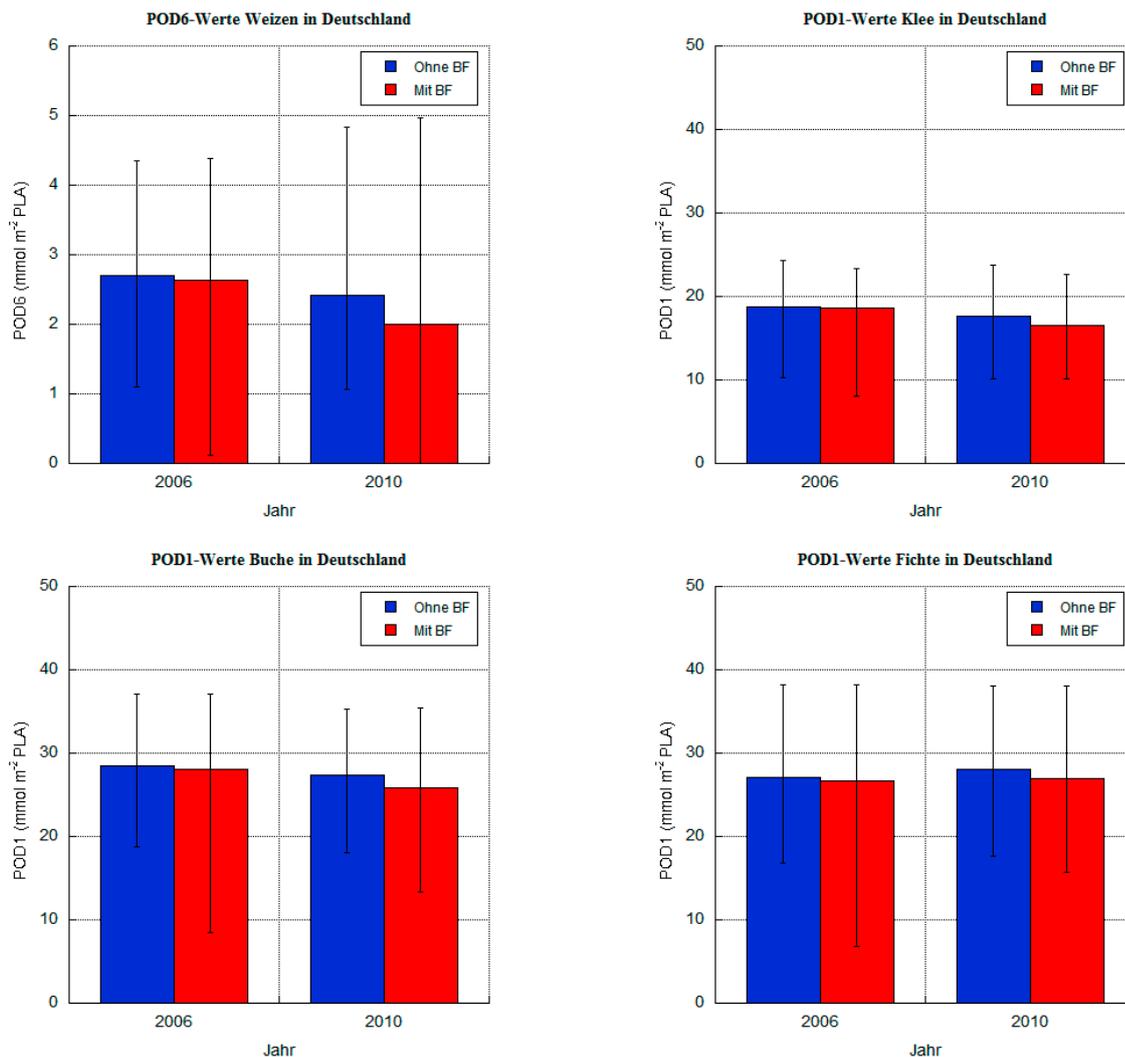
mit der POD_{γ} -Methodik erzielten Ergebnisse der Kartierungsstudie gibt Abbildung 13. Zusammenfassend ist festzustellen, dass in beiden Jahren und für alle

vier betrachteten Pflanzenarten ein sehr hohes Risiko besteht. Die Critical Levels sind großflächig, meist sogar flächendeckend überschritten.

Abbildung 13

Ergebnisse der Risikokartierungen mit dem POD_{γ} -Ansatz für die Rezeptoren Weizen, Klee, Buche und Fichte in den Jahren 2006 und 2010

Mittlere (Säule), minimale und maximale (Balken) POD_{γ} -Werte, mit und ohne Berücksichtigung der Bodenfeuchte (BF). Die kritischen Belastungsgrenzen betragen für Weizen $1 \text{ mmol O}_3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, für Klee $2 \text{ mmol O}_3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, für Buche $4 \text{ mmol O}_3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und für Fichte $8 \text{ mmol O}_3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$



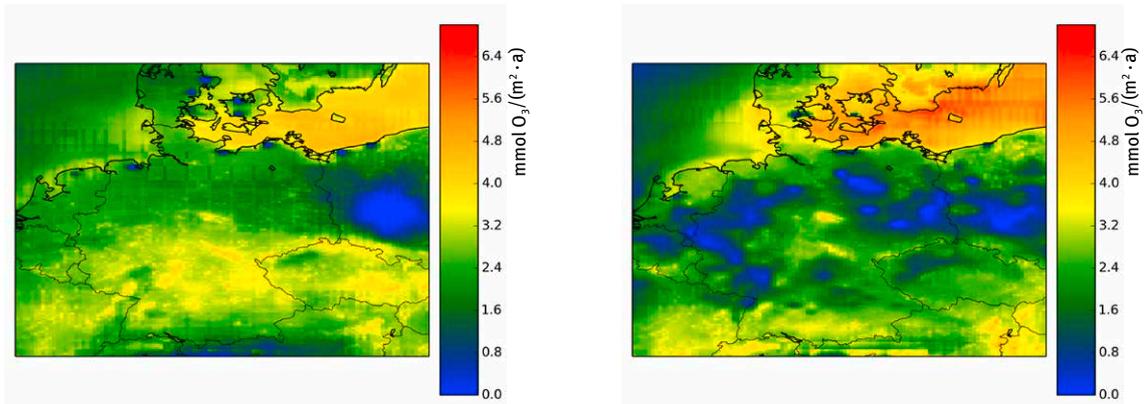
Quelle: Bender et al. (2015)

Im Folgenden werden ausgewählte Kartierungsergebnisse präsentiert. Die räumliche Auflösung beträgt innerhalb Deutschlands circa $7 \text{ km} \cdot 8 \text{ km}$, die zeitliche Auflösung der Berechnungen eine Stunde. Abbildung 14 zeigt die räumliche Verteilung der POD_6 -Werte als Risikoindikator für landwirtschaftliche Nutzpflanzen (Weizenertrag). Die Risiken sind 2010 geringer als 2006.

Wie in Abbildung 13 und 14 verdeutlicht, überschritten die berechneten Ozonflüsse die kritischen Belastungsgrenzen in beiden Jahren weiträumig bis flächendeckend. Wird die Bodenfeuchte als den Ozonfluss limitierender Faktor nicht berücksichtigt, steigt das berechnete Risiko vielerorts an (Minima der POD_{γ}) wobei der Mittelwert der POD_{γ} nur geringfügig zunimmt (Abbildung 13).

Abbildung 14

POD₆ für Ozon (Weizenertrag) in den Jahren 2006 (links) und 2010 (rechts) in Deutschland mit Berücksichtigung der Bodenfeuchte



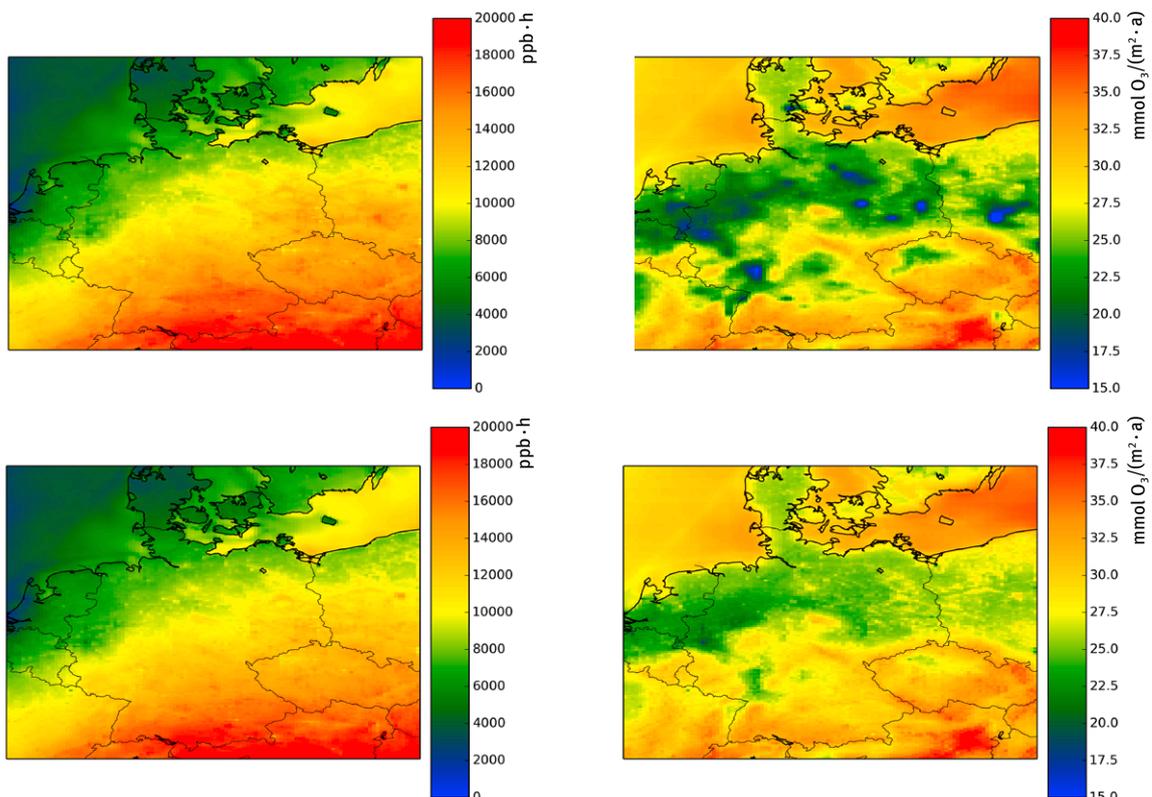
Quelle: Bender et al. (2015)

Die Abbildung 15 zeigt einen Vergleich der räumlichen Verteilung der AOT40- und POD₁-Werte für Buche. Während die AOT40-Werte systematisch von Nord/Nordwest nach Süd/Südost zunehmen, zeigt die Kartierung der POD₁-Werte ein räumlich differenzierteres

Muster. Bei Unterstellung optimaler Wasserversorgung der Pflanzen, also ohne Berücksichtigung von Wasserengpässen, die zum Schließen der Spaltöffnungen führen, sind die Risiken beim POD₁-Ansatz höher. Die AOT40-Karten zeigen einen entgegengesetzten Effekt.

Abbildung 15

Räumliche Verteilung des Risikos von Zuwachsverlusten bei der Buche, 2010 in Deutschland, mit dem AOT40-Ansatz (links) und dem POD₁-Ansatz (rechts), jeweils mit Berücksichtigung der Bodenfeuchte (oben) und ohne Berücksichtigung der Bodenfeuchte (unten)



Quelle: Bender et al. (2015)

Das liegt daran, dass im LOTOS-EUROS-Modell die Senkenstärke der Landoberfläche für Ozon bei hoher Bodenfeuchte zunimmt und deshalb die Ozonkonzentrationen in der Luft niedriger berechnet werden als bei trockenen Bedingungen. Es wird aber nicht berücksichtigt, dass die Spaltöffnungen bei Trockenheit den Ozonfluss begrenzen. Das führt insgesamt zu einer unrealistischen Risikobewertung. Für die Baumart Fichte

(nicht dargestellt) führten die Risikokartierungen im Jahr 2010 zu analogen Aussagen. Bender et al. (2015) verglichen die Kartierungsergebnisse mit lokalen Risikobeurteilungen an repräsentativen, ortsfesten Messstationen. Sie schätzen ein, dass die Kartierungen die regional unterschiedlichen Risiken plausibel abbilden, für lokale Risikobeurteilungen aber nicht genau genug sind.

Generelle Empfehlungen für die zukünftige Wirkungsbewertung des bodennahen Ozons und Forschungsbedarf

Risikoanalysen zum Schutz der Vegetation vor schädlichen Wirkungen bodennahen Ozons sollten an repräsentativen ortsfesten Messstationen und ausschließlich mit dem flussbasierten Ansatz durchgeführt werden. Flächenhafte Modellierungen können die lokalen Beurteilungen sinnvoll ergänzen.

Um eine bessere Repräsentativität hinsichtlich Fläche und Rezeptorgruppen zu erreichen, ist es notwendig, das Netz der Messstationen im ländlichen Raum mit standardisierten meteorologischen Messungen einschließlich Niederschlag zu erweitern. Meteorologische Messungen, darunter auch die Messhöhen, sollten standardisiert werden.

Um die Vollständigkeit von Datensätzen gewährleisten zu können, ist es erforderlich, geeignete Fehlwertersetzungsverfahren zu entwickeln.

Weitere Forschung ist unter anderem erforderlich, um alle verwendeten Dosis-Wirkungsbeziehungen experimentell zu bestätigen, um die vielfältigen Wechselwirkungen des bodennahen Ozons mit anderen Stoffeinträgen oder Klimaänderungen noch besser zu verstehen und um Wirkungen nicht nur für einzelne Pflanzenarten, sondern für gesamte Ökosysteme bewerten zu können.

Quellen:

Bender J, Bergmann E, Weigel HJ et al. (2015): Anwendung und Überprüfung neuer Methoden zur flächenhaften Bewertung der Auswirkung von Bodennahem Ozon auf die Biodiversität terrestrischer Ökosysteme, Abschlussbericht, Teil I, UBA-Texte 70/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Bergmann E, Bender J, Weigel HJ (2015): Assessment of the impacts of ozone on biodiversity in terrestrial ecosystems: Literature review and analysis of methods and uncertainties in current risk assessment approaches, Part II: Literature review of the current state of knowledge on the impact of ozone on biodiversity in terrestrial ecosystems, in: Bender et al. 2015, Teil II, UBA-Texte 71/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Hayes F, Mills G, Harmens H et al. (2007): Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe (1990 – 2006), Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops, Centre for Ecology & Hydrology, Bangor, United Kingdom

Heggstad H E (1966): Ozone as a Tobacco Toxicant, Journal of the Air Pollution Control Association, 16:12, 691-694, DOI: 10.1080/00022470.1966.10468534

Mills G, Wagg S, Harmens H (2013): Ozone Pollution: Impacts on ecosystem services and biodiversity, Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops, Centre for Ecology & Hydrology, Bangor, United Kingdom

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**
Kurzlink: <http://bit.ly/1YcPvdn>

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