

HINTERGRUND // FEBRUAR 2014

Luftqualität 2013Vorläufige Auswertung



Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt Postfach 14 06 06844 Dessau-Roßlau Tel: +49 340-2103-0

Internet: www.umwelthundesam

f /umweltbundesamt.de

y /umweltbundesamt

Autoren:

Arno Graff Susan Klose Andrea Minkos Ute Dauert Stefan Feigenspar

Redaktion:

Fachgebiet II 4.2 "Beurteilung der Luftqualität"

Gestaltung:

Studio GOOD

Broschüren bestellen:

omweltbungesamt c/o GVP Postfach 30 03 61 | 53183 Bonn Service-Telefon: 0340 2103-6688 Service-Fax: 0340 2104-6688 E-Mail: uba@broschuerenversand.

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2013

Bildauellen:

Titel, Seite 4: shutterstock.com

Stand: 28.1.2014

Inhalt

1.

3.

4.

II	Feinstaub (PM_{10}): Kaum Entlastung – und keine Entwarnung für die Gesundheit 6
1.	PM ₁₀ -Tagesmittelwerte 6
2.	PM ₁₀ -Jahresmittelwerte 6
3.	Exkurs zur Ermittlung der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Feinstaub 8
Ш	Stickstoffdioxid (NO₂): Kaum Veränderung gegenüber dem Vorjahr 9
III 1.	

Die Belastungsregimes: Ländlicher & städtischer Hintergrund und städtisch verkehrsnah 5

Luftqualität 2013: Entlastung, aber keine Entwarnung 4Vorläufige Bewertung der Luftbelastungssituation in Deutschland 4

Überblick: Belastungen mit Stickstoffdioxid und Feinstaub nach wie vor zu hoch 4

IV Ozon: Die Luftreinhaltepolitik greift – dennoch weiter Überschreitungen der Zielwerte 10

- 1. Ozonsituation im Sommer 2013 10
- 2. Ozonspitzen 2013 blieb Ozonalarm aus 16

Ursache der Luftschadstoffbelastung 5

- 3. Betrachtung der gesamten Ozonsaison 16
- 4. Fazit zu Ozon 19



I. Luftqualität 2013: Entlastung, aber keine Entwarnung

1. Vorläufige Bewertung der Luftbelastungssituation in Deutschland

In diesem Papier gibt das Umweltbundesamt eine erste Bewertung der Luftbelastungssituation des Jahres 2013 (Stand 28.1.2014). Die Daten werden im Vergleich zu den geltenden Grenz- und Zielwerten sowie zu der Situation im Jahr 2012 diskutiert. Die Auswertung basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Messnetzen der Länder und des Umweltbundesamtes. Aufgrund umfangreicher Qualitätssicherung in den Messnetzen der Länder und des Umweltbundesamtes stehen die endgültig geprüften Daten erst im Laufe der ersten Hälfte des Jahres 2014 zur Verfügung. Die Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, dass die vorläufigen Auswertungen aber bereits eine generelle Einschätzung der Situation des vergangenen Jahres erlauben. Natürlich können sich einzelne Zahlen noch ändern. Beurteilt wird die Belastungssituation durch die Schadstoffe Feinstaub (PM₁₀), Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Ozon – bei allen gibt es nach wie vor Überschreitungen der geltenden Grenz- und Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit.

2. Überblick: Belastungen mit Stickstoffdioxid und Feinstaub nach wie vor zu hoch

Seit dem 1.1.2010 sind die bereits 1999 beschlossenen Grenzwerte für Stickstoffdioxid einzuhalten:

Die Jahresmittelwerte dürfen den Wert von $40~\mu g/m^3$ nicht überschreiten, 1-Stundenwerte über $200~\mu g/m^3$ sind höchstens achtzehnmal im Kalenderjahr zugelassen. An etwa 56 Prozent der städtisch verkehrsnahen Stationen lagen im Jahr 2013 die NO_2 -Jahresmittelwerte über $40~\mu g/m^3$. Unter Einbeziehung der noch fehlenden Daten aus Passivsammlermessungen wird sich dieser Prozentsatz nach den Erfahrungen der Vorjahre auf ca. 70 Prozent erhöhen. An einzelnen verkehrsnahen Messstationen (ca. 3 Prozent) traten öfter als achtzehnmal NO_2 -Stundenwerte über 200 $\mu g/m^3$ auf. Die Stickstoffdioxidbelastung im Jahr 2013 war demnach ähnlich wie in den Vorjahren.

An ca. 3 Prozent aller Messstationen wurden beim Feinstaub an mehr als 35 Tagen PM_{10} -Tagesmittelwerte über $50 \, \mu g/m^3$ gemessen und somit Überschreitungen des Grenzwertes festgestellt. Die mittleren PM_{10} -Konzentrationen liegen zwar leicht über dem Vorjahr, verglichen mit dem Zeitraum 2005 bis 2010 war 2013 jedoch eines der am wenigsten belasteten Jahre.

Im Sommer 2013 gab es keine ausgeprägten Episoden mit hohen Ozonspitzenbelastungen. Die Ozonkonzentrationen überschritten dennoch an etwa 8 Prozent der Messstationen den Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Dabei darf der maximale 8-Stunden-Wert eines Tages an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre, den Wert von $120\,\mu\text{g/m}^3$ überschreiten.

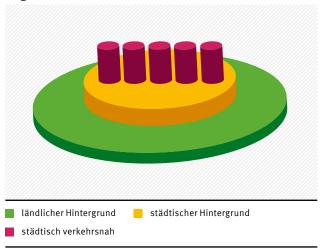
3. Ursache der Luftschadstoffbelastung

Ursache der Luftschadstoffe sind vor allem der Straßenverkehr und Verbrennungsprozesse in Industrie, Energiewirtschaft und Haushalten. Zur Feinstaubbelastung trägt auch die Landwirtschaft bei. Vor allem in Abhängigkeit von der Wirtschaftslage variieren die Emissionen von Jahr zu Jahr. Die Höhe der Schadstoffbelastung wird zudem von den Witterungsverhältnissen mit beeinflusst. Ist es kalt, steigen die Emissionen oft, weil stärker geheizt wird. Winterliche Hochdruckwetterlagen, die häufig durch geringe Windgeschwindigkeiten und einen eingeschränkten vertikalen Luftaustausch gekennzeichnet sind, führen dazu, dass sich Schadstoffe in den unteren Luftschichten anreichern. Bei Wetterlagen mit hohen Windgeschwindigkeiten und guten Durchmischungsbedingungen verringert sich hingegen die Schadstoffbelastung. In erster Linie bedingen diese unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen die zwischenjährlichen Schwankungen in der Luftbelastung.

4. Die Belastungsregimes: Ländlicher & städtischer Hintergrund und städtisch verkehrsnah

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationswerte als so genannte "Belastungsregimes" zusammengefasst. 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 tyischen Emissionen der Stadt selbst (Straßenverkehr, Heizungen, Industrie etc.) und dem großräumigen Hintergrund. Stationen des Regimes "städtisch verkehrsnah" befinden sich typischerweise in stark befahrenen Straßen. Dadurch addiert sich zur städtischen Hintergrundbelastung ein Beitrag, der durch die direkten Emissionen des Straßenverkehrs entsteht. Die Grafik stellt die Beiträge der einzelnen Belastungsregimes schematisch dar.

Schematische Darstellung der Belastungsregimes



II. Feinstaub (PM₁₀): Kaum Entlastung – und keine Entwarnung für die Gesundheit

1. PM₁₀-Tagesmittelwerte

An ca. 3 % aller Messstationen traten in Deutschland an mehr als 35 Tagen Tagesmittelwerte über $50 \,\mu g/m^3$ auf und somit Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes. Dass die Nichteinhaltung dieses Grenzwertes fast ausschließlich ein Problem verkehrsnaher Messstationen war und ist, wird aus

Abbildung 01 ersichtlich (rote Balken). Der Empfehlung der WHO, einen Tagesmittelwert von 50 $\mu g/m^3$ nicht zu überschreiten¹, wurde im Jahr 2013 an nur sechs abgelegenen Stationen im ländlichen Hintergrund und einer Station im städtischen Hintergrund entsprochen. "Spitzenreiter" mit der höchsten Zahl an Überschreitungstagen war auch im Jahr 2013 die Messstation Stuttgart Am Neckartor.

Abbildung 02 zeigt auf, wie viele Überschreitungstage im Mittel pro Monat registriert wurden.

Das Jahr 2013 wird hier dem hochbelasteten Jahr 2011 und einem längeren Referenzzeitraum (2005-2010) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass es im hochbelasteten Jahr 2011 aufgrund des häufigen Auftretens kalter, stabiler Hochdruckwetterlagen bereits im März mehr Überschreitungstage gezählt wurden, als 2013 im ganzen Jahr. Auch der langjährige Vergleich zeigt, dass 2013 ein Jahr mit geringer Feinstaubbelastung war, in dem Überschreitungstage hauptsächlich im Frühjahr (Januar bis April) beobachtet wurden.

2. PM₁₀-Jahresmittelwerte

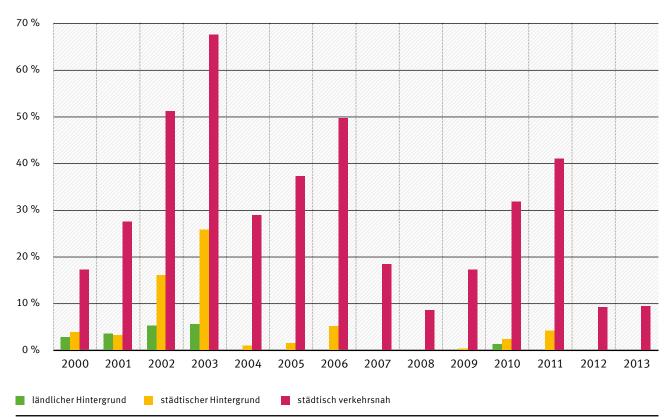
Der PM_{10} -Grenzwert von 40 $\mu g/m^3$ im Jahresmittel wurde im Jahr 2013 deutschlandweit eingehalten, in den letzten Jahren traten vereinzelte Grenzwertüber-

schreitungen an besonders verkehrsbelasteten Messstationen auf. 51 % aller Messstationen lagen jedoch oberhalb des von der WHO vorgeschlagenen Luftgüteleitwertes von 20 $\mu g/m^3$ im Jahresmittel (davon zwei Drittel verkehrsnah).

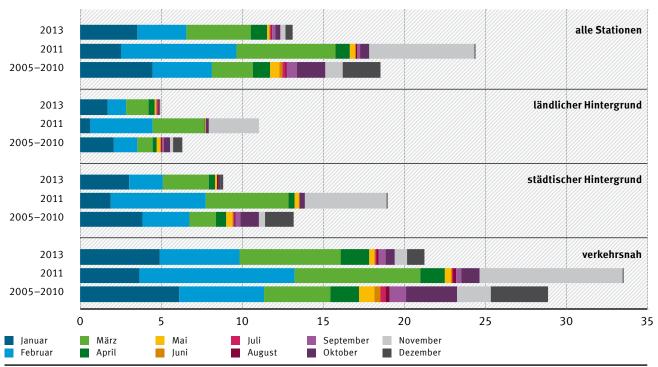
Wie schon im Vorjahr blieben auch 2013 extreme Wetterlagen, wie sie im Frühjahr und Herbst 2011 beobachtet wurden, aus. Die PM₁₀-Jahresmittelwerte liegen zwar leicht über dem Vorjahresniveau, langfristig betrachtet war 2013 jedoch eines der am wenigsten belasteten Jahre (Abbildung 03). Einhergehend mit großräumigen Minderungen der PM₁₀-Emissionen weisen die PM₁₀-Jahresmittelwerte in allen Belastungsregimes über den gesamten Beobachtungszeitraum 2000 bis 2013 eine leichte Abnahme auf. Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährliche Schwankungen geprägt, vor allem verursacht durch die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse.

Abbildung 01

Prozentualer Anteil der Stationen in der jeweiligen Stationsklasse "ländlicher Hintergrund", "städtischer Hintergrund" und "städtisch verkehrsnah" mit PM_{10} -Tagesmittelüberschreitungen im Zeitraum 2000 bis 2013.



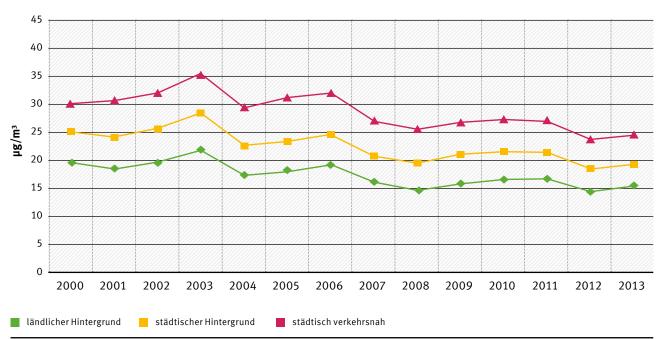
Mittlere Anzahl der PM_{10} -Tagesmittelwerte > 50 $\mu g/m^3$.



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 03

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte im Mittel über die Stationsklassen "ländlicher Hintergrund", "städtischer Hintergrund" und "städtisch verkehrsnah" im Zeitraum 2000 bis 2013.



3. Exkurs zur Ermittlung der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Feinstaub

Seit den 1990er Jahren untersucht die Weltgesundheitsorganisation (WHO), wie sich schädliche Umwelteinflüsse auf das Krankheitsgeschehen in verschiedenen Ländern auswirken. Dazu entwickelte die WHO in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen das Konzept der "Umweltbedingten Krankheitslasten" (engl. Environmental Burden of Disease, kurz: EBD). Im Rahmen von EBD-Studien werden Umwelt- und Gesundheitsdaten verknüpft und statistisch ausgewertet. Für Deutschland führt das Umweltbundesamt EBD-Analysen durch um zu ermitteln, welche Umwelteinflüsse mit besonders hohen Krankheitslasten einhergehen. Das statistisch auf Umwelteinflüsse zurückzuführende Krankheitsgeschehen in der Bevölkerung wird aus der mittleren bevölkerungsgewichteten Feinstaubbelastung basierend auf dem EBD-Konzept ermittelt. Üblicherweise wird die Krankheitslast in der Bevölkerung in der Messgröße DALY (Disability Adjusted Life Years) angegeben, die den Verlust an Lebenszeit und -qualität durch Erkrankungen beziehungsweise vorzeitige Todesfälle in der Einheit "Jahre" zusammenfasst. Die Berechnungen des Umweltbundesamtes berücksichtigen derzeit zunächst nur die durch Feinstaub verlorene Lebenszeit. Grundsätzlich gilt, dass gesundheitliche Effekte sowohl bei Langzeitexposition als auch bei Exposition gegenüber kurzzeitigen Belastungsspitzen von Feinstaub auftreten können. Die Berechnungen des Umweltbundesamtes berücksichtigen die folgenden Todesursachen:

- Mortalität infolge akuter Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren
- Mortalität infolge kardiopulmonaler Erkrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren und
- Mortalität infolge von Lungenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren

Der Berechnung der mit Feinstaub assoziierten DALYs liegen neben den Konzentrationswerten zusätzlich statistische Basisdaten aus der Gesundheitsberichterstattung des Bundes zugrunde. Z. B. wurden Sterbefallzahlen für die oben genannten Todesursachen herangezogen. Für die Berechnung der feinstaubbezogenen Krankheitslasten fand die Standardlebenserwartung für die Bevölkerung in Deutschland Verwendung (Statistisches Bundesamt). Zudem wurde eine unvermeidbare natürliche Basiskonzentration von 7 $\mu g/m^3$ PM₁₀ angenommen, die der niedrigsten in Deutschland gemessenen Feinstaubkonzentration in dem betrachteten Zeitraum entspricht. Damit bleibt bewusst ein Teil der Feinstaubexposition unberücksichtigt, der in der Regel kaum anthropogenen Ursprungs ist und für den daher keine wesentlichen Emissionsminderungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Weil keine Wirkungsschwellen für Feinstaub bekannt sind, können aber auch mittlere PM₁₀-Konzentrationen unterhalb von 7 $\mu g/m^3$ einen negativen Einfluss auf die Gesundheit haben. Dies gilt für die gesamte Bevölkerung, besonders aber für empfindliche Personen, wie ältere Menschen, Personen mit Vorerkrankungen der Atemwege und Kleinkinder.

Für die in der Studie betrachteten Erkrankungen lassen sich so in Deutschland jährlich im Durchschnitt circa 47.000 vorzeitige Todesfälle auf die Exposition gegenüber Feinstaub zurückführen. Dies entspricht einem Verlust von circa zehn Lebensjahren pro 1.000 Einwohner.

Weitergehende Informationen zur Berechnung feinstaubbedingter Krankheitslasten sind unter http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umid-042013 zu finden.

III. Stickstoffdioxid (NO₂): Kaum Veränderung gegenüber dem Vorjahr

1. NO,-Jahresmittelwerte

Die Höhe der $\mathrm{NO_2}$ -Belastung ist vor allem durch lokale Quellen – insbesondere den Verkehr in Ballungsräumen – bestimmt. Daher zeigen die $\mathrm{NO_2}$ -Jahresmittelwerte nur geringe zwischenjährliche Schwankungen. Im ländlichen Bereich, fern von Emittenten, waren an den Messstationen im gesamten Betrachtungszeitraum 2000 bis 2013 $\mathrm{NO_2}$ -Konzentrationen auf gleichbleibendem Niveau um $\mathrm{10~\mu g/m^3}$ im Jahresmittel zu verzeichnen (Abbildung 04, grüne Kurve).

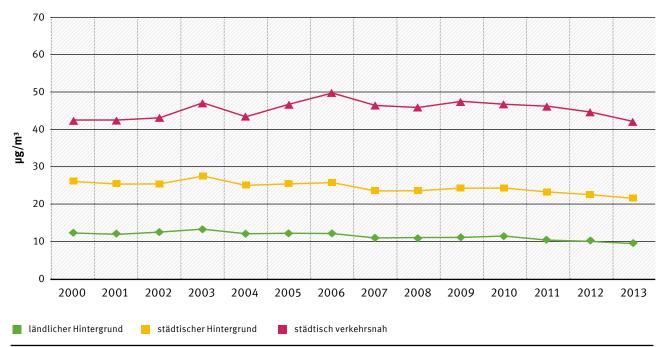
Auch im städtischen Hintergrund liegen die Werte weit unterhalb des Grenzwertes (Abbildung 04, gelbe Kurve). Mit Werten um 45 $\mu g/m^3$ übersteigt der mittlere NO $_2$ -Jahresmittelwert an verkehrsnahen Standorten (Abbildung 04, rote Kurve) den seit 1.1.2010 einzuhaltenden Grenzwert. Dies spiegelt wider, dass an einer Vielzahl von Stationen Jahresmittel oberhalb 40 $\mu g/m^3$ gemessen und somit Grenzwertüberschreitungen verzeichnet wurden.

Da die vor allem an hoch belasteten, verkehrsnahen Standorten mittels Passivsammler gemessenen NO_2 -Konzentrationen für diese vorläufige Auswertung noch nicht vorliegen, fällt der hier ermittelte mittlere Jahresmittelwert in diesem Belastungsregime geringer aus als in den Vorjahren. Unter Einbeziehung der Passivsammlerdaten ist ähnlich wie 2012 ein Mittelwert um 45 $\mu g/m^3$ zu erwarten.

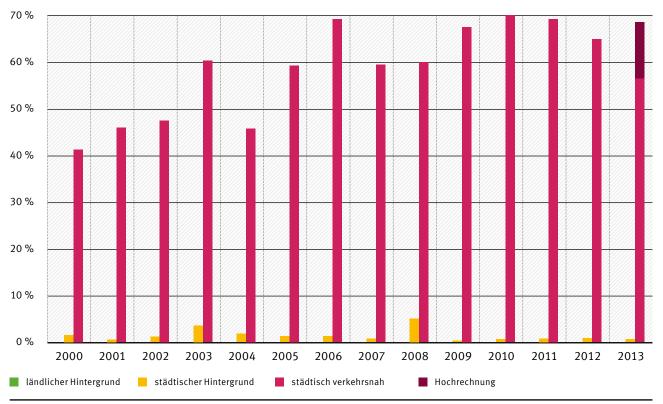
An ca. 56 % der verkehrsnahen Messstationen überschritten im Jahr 2013 die $\mathrm{NO_2}$ -Jahresmittelwerte den einzuhaltenden Grenzwert bzw. den WHO-Luftgüteleitwert (Abbildung 05, rote Balken). Für 2012 gaben wir den Anteil von Überschreitungen an dieser Stelle mit 52 % an, der auf Grundlage endgültig geprüfter und ergänzter Daten durch 65 % ersetzt wurde. Von einer derzeitigen Unterschätzung des Anteils verkehrsnaher Stationen mit Grenzwertüberschreitung und einer späteren Korrektur nach oben auf einen Wert von ca. 70 % muss auch in diesem Jahr wieder ausgegangen werden.

Abbildung 04

Entwicklung der NO_2 -Jahresmittelwerte im Mittel über die Stationsklassen "ländlicher Hintergrund", "städtischer Hintergrund" und "städtisch verkehrsnah" im Zeitraum 2000 bis 2013.







Quelle: Umweltbundesamt

2. NO₂-Stundenmittelwerte

 ${
m NO}_2$ -Stundenmittelwerte über 200 µg/m³ sind seit 2010 höchstens 18mal im Jahr zulässig. Zu Überschreitungen dieses Wertes kam es im Jahr 2013 an ca.

3 % aller verkehrsnahen Stationen. In den Vorjahren war die Situation ähnlich. Während die WHO empfiehlt, dieses Stundenmittel gar nicht zu überschreiten, wurden an 22 % aller verkehrsnahen Messstationen Stundenmittel oberhalb von 200 μ g/m³ registriert.

IV. Ozon: Die Luftreinhaltepolitik greift – dennoch weiter Überschreitungen der Zielwerte

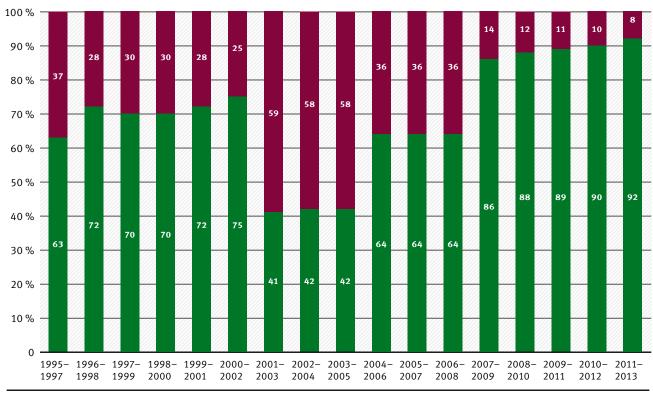
1. Ozonsituation im Sommer 2013

Die Bewertung der Luftqualität hinsichtlich des Ozon-Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit (die Zahl der Kalendertage mit 8-Stunden-Mittelwerten über 120 $\mu g/m^3$ über einen Mittelungszeitraum von drei Jahren darf den Wert 25 nicht überschreiten) zeigt: Auch im letzten Mittelungszeitraum, welcher die wenig mit Ozon belasteten Jahre 2011, 2012 und 2013 abbildet, überschreiten noch 8 % der Stationen den Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (Abbildung 06).

Die Belastung der Luft mit Ozon im Sommer 2013 entsprach in etwa dem Durchschnitt über das letzte Jahrzehnt, in dem, abgesehen vom hoch belasteten Jahr 2003, keine ausgeprägten Episoden wie noch in der ersten Hälfte der 1990er-Jahre auftraten.

Eine Analyse der meteorologischen Verhältnisse während der Ozonsaison 2013 (April–September) ergab, dass die Lufttemperatur im Juli deutschlandweit über dem langjährigen Mittel lag (s. Abbbildung 07). Aufgrund dieser Schönwetterperiode mit hochsommerlichen Temperaturen waren Überschreitungen der

Prozentualer Anteil der Ozonmessstationen mit Überschreitung bzw. Einhaltung des Zielwertes seit 1995 (jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 3 Jahre).



Quelle: Umweltbundesamt

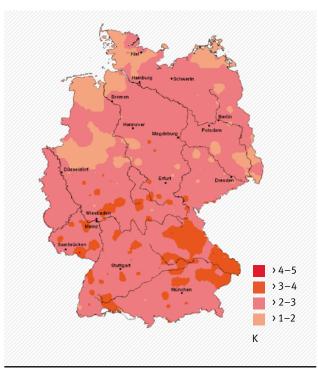
Schwellenwerte zu erwarten. Die tatsächliche Überschreitungssituation gestaltete sich wie folgt:

- Informationsschwelle (180 μg/m³): Überschreitungen bei 312 Stundenmittelwerten an 15 Tagen und 88 Messstationen im Zeitraum vom 17. bis 20. Juni und später von Mitte Juli bis Anfang August
- Alarmschwelle (240 µg/m³): keine Überschreitung
- Die maximale Ozonkonzentration lag mit 231 μg/m³ im unteren Bereich im Vergleich der letzten 20 Jahre
- Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: Überschreitung bei 12% der Stationen (ohne 3-Jahresmittel)
- ► AOT40: Überschreitung bei 6% der Stationen (ohne 5-Jahresmittelung)

Damit blieben vor allem Ozonspitzen, also kurzzeitig hohe, gesundheitsgefährdende Ozonkonzentrationen aus. Auf die Frage, wie das diesjährige Ausbleiben hoher Ozonwerte trotz offensichtlich für die Ozonbildung günstiger meteorologischer Verhältnisse erklärt werden kann, wird im Folgenden genauer eingegangen.

Abbildung 07

Abweichung der Lufttemperatur im Juli 2013 vom langjährigen Mittel.



Quelle: Deutscher Klimaatlas www.dwd.de

Ozon wird nicht direkt freigesetzt, sondern entsteht durch photochemische Prozesse aus Vorläufersubstanzen (überwiegend Stickstoffoxiden – NO, und flüchtigen organischen Verbindungen – NMVOC). Es wird deshalb als sekundärer Schadstoff bezeichnet. Hohe Lufttemperaturen und starke Sonneneinstrahlung begünstigen die Entstehung von bodennahem Ozon in der Atmosphäre. Dies ist typisch für die meteorologischen Bedingungen während sommerlicher Hochdruckwetterlagen. Niedrige Windgeschwindigkeiten vermindern den turbulenten Austausch und die Verdünnung der Luftbeimengungen und erhöhen so die Ozonkonzentrationen zusätzlich. Auch die biogenen Emissionen tragen zum Entstehen von Ozon bei. Insbesondere die Emissionen von Terpenen und Isoprenen, vor allem aus Wäldern, steigen mit zunehmenden Temperaturen und zunehmender Einstrahlung an und verstärken dann die Ozonbildung.

Betrachtet man die Ozonkonzentrationen der letzten 20 Jahre, stechen besonders die des Jahrhundertsommers 2003 bezüglich Häufigkeit, Dauer und Höhe von Schwellen- und Zielwertüberschreitungen heraus, was auch in dem Vergleich aller gesundheitsrelevanten Zielwertüberschreitungen der Jahre 2003 und 2013 deutlich wird:

Ein Vergleich der meteorologischen Bedingungen des Sommers 2003 mit 2013 zeigt, dass sowohl die Tagesmaxima der Temperatur als auch die tägliche Summe der Globalstrahlung 2003 deutlich höher waren als 2013. Gleichzeitig gab es 2003 häufiger windschwache Wetterlagen. In Bezug auf andere, für die Ozonbildung relevante meteorologische Größen ließen sich zwischen 2003 und 2013 keine belastbaren Unterschiede feststellen. Eine vergleichende Betrachtung der Monate der Ozonsaison 2003 und 2013 zeigt: April, Mai, Juni, August und September 2003 waren zum Teil deutlich wärmer als die entsprechenden Monate 2013. Lediglich der Juli 2003 und der Juli 2013 sind ähnlich bezüglich Temperatur und Einstrahlung, mit sogar leicht höheren Werten im Juli 2013. Die Auswertung der Ozonmesswerte der beiden Julimonate zeigt: Im Juli des Jahrhundertsommers 2003 wurden höhere Ozonwerte gemessen (Abbildung 08, blaue Kurve), obwohl die meteorologischen Bedingungen 2013 für die Ozonbildung sogar geringfügig günstiger waren.

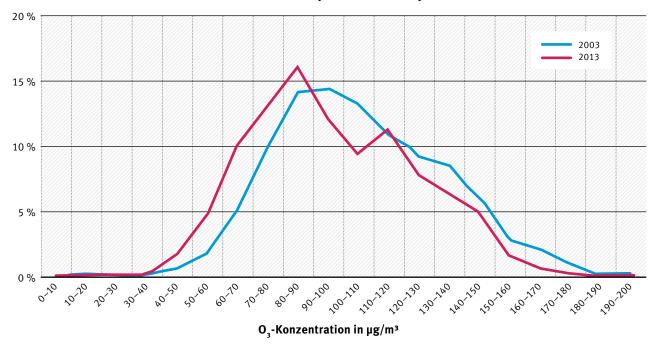
Dies legt die Vermutung nahe, dass die niedrigeren Ozonkonzentrationen im Juli 2013 trotz der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen auf Emissionsminderungen der Ozonvorläuferstoffe $\mathrm{NO_x}$ (Stickstoffoxide) und NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) während der letzten zehn Jahre zurückzuführen sind. Eine Betrachtung der Emissionen unterstützt diese Annahme: Die deutschen Gesamtemissionen² der Vorläuferstoffe $\mathrm{NO_x}$ sind von 2003 bis 2013 um etwa 28 % zurückgegangen, die von NMVOC um etwa 17 % (Abbildung 09).

Tabelle 01

Vergleich Ozonsituation 2003/2013 an durchgängig messenden Stationen

Schwellenwertüberschreitungen	2003	2013
Zahl der Stunden > 180 μg/m³	7.346	257
Zahl der Stunden > 240 μg/m³	288	0
Maximale 1stündige Konzentration	334	231
Kalendertage mit Überschreitungen Infoschwelle	66	14
Kalendertage mit Überschreitungen Alarmschwelle	13	0
Zahl Stationen mit Überschreitung Infoschwelle	178	69
Zahl Stationen mit Überschreitung Alarmschwelle	52	0
Zielwertüberschreitungen (Gesundheitsschutz)		
Summe Überschreitungen des max. tägl. 8-Stundenmittelwerte von 120 $\mu g/m^3$	10.094	2.874
Maximaler tägl. 8-Stundenmittelwert	254	205
Kalendertage Überschreitungen des max. tägl. 8-Stundenwertes von 120 $\mu g/m^3$	177	95
Stationen mit Überschreitungen des max. tägl. 8-Stundenwertes von 120 $\mu g/m^3$	189	188
Stationen mit Überschreitungen des max. tägl. 8-Stundenwertes von 120 $\mu g/m^3$ an mehr als 25 Tagen	165	26

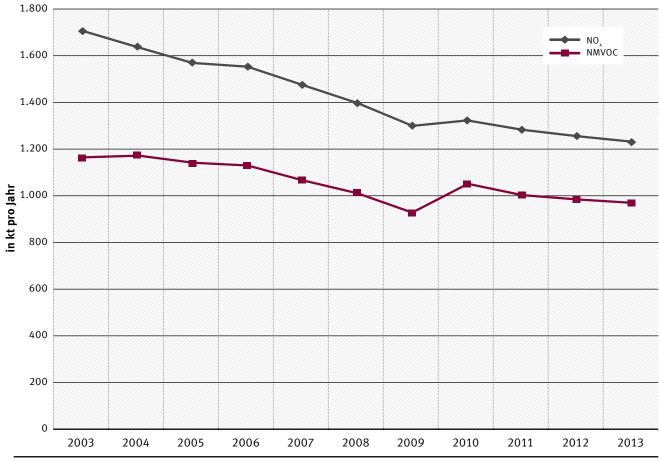
Aus den Beobachtungen an 55 Stationen abgeleitete Auftrittshäufigkeit der täglichen maximalen Ozon 8-h-Mittelwerte für den Zeitraum Juli 2003 bzw. Juli 2013.



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 09

Entwicklung der jährlichen $\mathrm{NO_x}$ -und NMVOC-Emissionen 2003 bis 2013 in Deutschland.



Wie Emissionen und meteorologische Bedingungen bei der Entstehung von Ozon zusammenspielen, lässt sich aber aus Messungen allein nicht ableiten. Dazu sind vielmehr Computermodelle (sog. ACTM – Atmosphären-Chemie-Transport-Modellen) erforderlich, mittels derer man den Einfluss von Emissionen und Meteorologie getrennt betrachten kann und ein virtuelles Labor schaffen kann. So kann man neben der konkreten Situation in einem spezifischen Jahr

- den Einfluss einer Änderung der Emissionen auf die Ozonentstehung, unter gleichen meteorologischen Bedingungen, jedoch unterschiedlichen Emissionen und
- den Einfluss der Meteorologie auf die Ozonentstehung, bei gleichen Emissionen, jedoch unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen untersuchen.

Auf diese Weise lassen sich folgende Fragen klären:

- Zu welchen Ozonkonzentrationen wäre es 2013 gekommen, wenn unverändert die höheren Emissionen aus dem Jahr 2003 freigesetzt worden wären?
- 2. Wie groß ist der Einfluss, den verringerte Emissionen bzw. veränderte meteorologische Bedingungen haben?
- 3. Mit welchen Ozonkonzentrationen müsste man heutzutage rechnen, falls es erneut einen Jahrhundertsommer wie 2003 gäbe?

Mit Modellrechnungen³ wurde zunächst die durch Messungen festgestellte Situation im Juli der Jahre 2003 und 2013 (Abbildung 08) nachvollzogen. Abbildung 10 zeigt die mittleren Ozonkonzentrationen im Juli 2013 (1) und im Juli 2003 (2), berechnet aus den spezifischen Emissions- und meteorologischen Daten des jeweiligen Jahres. Desweiteren wurden zwei Szenarien berechnet, in denen jeweils eine der beiden Einflussgrößen konstant gehalten wurde, um den Einfluss der veränderlichen Größe ablesen zu können:

Szenario 3: meteorologische Bedingungen des Juli 2013 bei Erhöhung der Emissionen auf das Niveau des Jahres 2003 (Abbildung 09)

Szenario 4: Emissionen des Jahres 2013 bei für die Ozonbildung ungünstigeren meteorologischen Bedingungen als im Juli 2003

Ergebnisse

Für den Juli 2003 (2)berechnet das Modell etwas höhere Ozonwerte als für 2013 (1), was konsistent mit den Beobachtungen (Abbildung 08) ist.

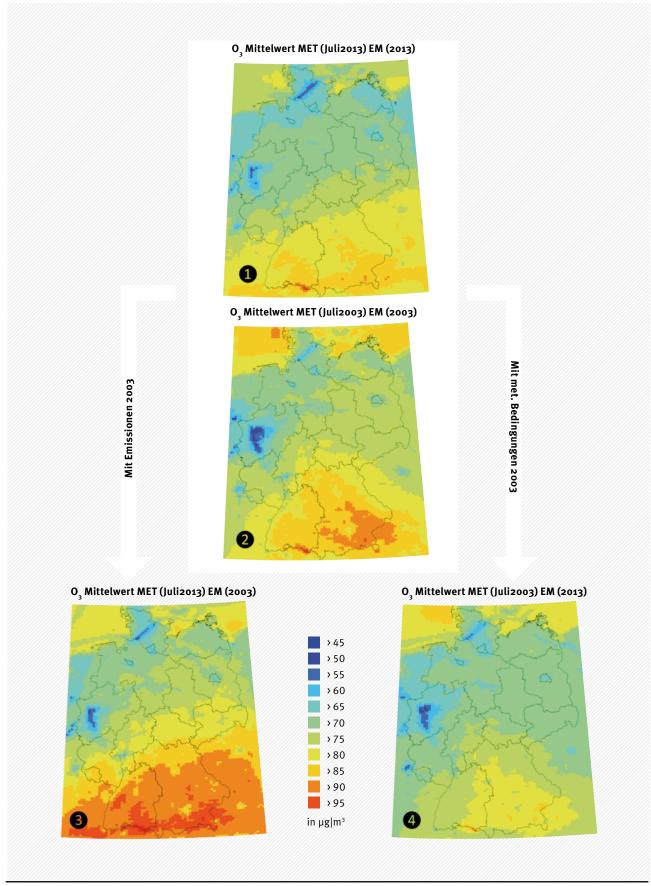
3: Wären im Juli 2013 noch die hohen Emissionen des Jahres 2003 freigesetzt worden, hätte dies in großen Teilen Deutschlands zu höheren Ozonwerten geführt und zwar im Monatsmittel um ca. 10 μ g/m³ im Süden, 5 μ g/m³ im Osten und 3 μ g/m³ im Norden und Nordwesten Deutschlands.

 \clubsuit : Hätten im Juli 2013 die für die Ozonbildung etwas ungünstigeren meteorologischen Bedingungen des Juli 2003 geherrscht, hätte dies in weiten Teilen Deutschlands zu niedrigeren Ozonwerten geführt. Die Differenz beläuft sich auf ca. 5 μ g/m³ im Südwesten und 2 μ g/m³ im Südosten und in Sachsen. In den Küstenregionen ist dagegen eine Zunahme zu verzeichnen.

Die Zunahmen, die im Jahr 2013 durch die höheren Emissionen des Jahres 2003 entstehen würden, übertreffen sowohl flächen- als auch betragsmäßig die Abnahmen, hervorgerufen durch die meteorologischen Verhältnisse des Jahres 2003.

Die Bedingungen für die Ozonbildung waren also im Juli 2013 günstiger als im Juli 2003; trotzdem kam es im Juli 2013 zu niedrigeren Ozonkonzentrationen und damit zu weniger Überschreitungen von Zielwerten und der Informations- und Alarmschwelle. Die Abnahme der Vorläuferstoffe seit dem Jahr 2003 hat also die zu erwartenden höheren Ozonwerte im Juli 2013 mehr als kompensiert.

Modellergebnisse: Mittlere Ozonkonzentrationen im Juli 2003/2013 mit Emissionen 2003/2013.



2. Ozonspitzen – 2013 blieb Ozonalarm aus

Wie eingangs erwähnt, blieben im Sommer 2013 besonders hohe Ozonkonzentrationswerte nahezu aus. So wurde an keinem Tag die Alarmschwelle überschritten. Zu Überschreitungen der Informationsschwelle kam es an 15 Tagen.

Wie sich die Einflussfaktoren Meteorologie und Emission auf das Auftreten von Spitzenwerten auswirken, zeigt Abbildung 11. Dargestellt ist eine relative Summenhäufigkeit der Ozonstundenmittelwerte in Abhängigkeit von Emissionen und Meteorologie (Abbildung 11 rechts oben). Da hier besonders der Bereich der Ozonspitzenwerte von Bedeutung ist, wurde der Bereich ab > 140 μ g/m³ nochmals vergrößert dargestellt. In guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen zeigt das Modell für 2013 (schwarze Kurve) kaum Stundenwerte > 160 μ g/m³ (0.1%).

Deutlich wird, dass das Szenario mit den im Vergleich zum Jahr 2013 höheren Emissionen des Jahres 2003 (rote Kurve) größeren Einfluss auf das vermehrte Auftreten von Spitzenwerten hat, als das Szenario mit der Meteorologie des Jahres 2003 auf das Ausbleiben (grüne Kurve).

3. Betrachtung der gesamten Ozonsaison

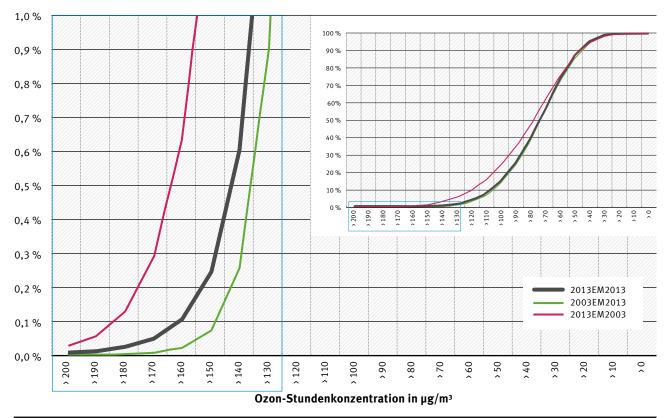
Zur Beurteilung der Luftqualität anhand von Zielwerten (zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation) müssen Ozonkonzentrationen während des gesamten Sommers betrachtet werden.

Wirkung erhöhter Emissionen

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit darf der maximale 8h-Mittelwert von $120\,\mu\text{g/m}^3$ an nicht mehr als 25 Tagen im Jahr (gemittelt über 3 Jahre) überschritten werden. Für 2013 berechnet das Modell keine Zielwertüberschreitungen (Abbildung 12 links). Mit den erhöhten Emissionen des Jahres 2003 wäre es dagegen in großen Teilen Süddeutschlandes zu Zielwertüberschreitungen gekommen (Abbildung 12 rechts). Ein ähnliches Bild ergibt sich aus

Abbildung 11

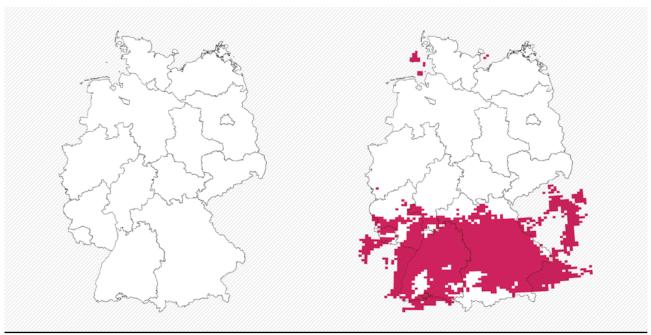
Modellergebnisse: Summenhäufigkeit der Ozonstundenwerte von > 200 $\mu g/m^3$ bis > 0 $\mu g/m^3$ für den Ist-Zustand 2013 (schwarz), mit Meteorologie Juli 2003 (grün), Emission 2003 (rot).



den Modellergebnissen bezüglich des Zielwertes zum Schutz der Vegetation (AOT40) (Abbildung 13): Während die Werte 2013 deutschlandweit unter der Grenze von $18.000~\mu g/m^3$ liegen, kommt es mit den erhöhten Emissionen von 2003~zu Überschreitungen im Süden Deutschlands und im Bereich der Ostsee.

Abbildung 12

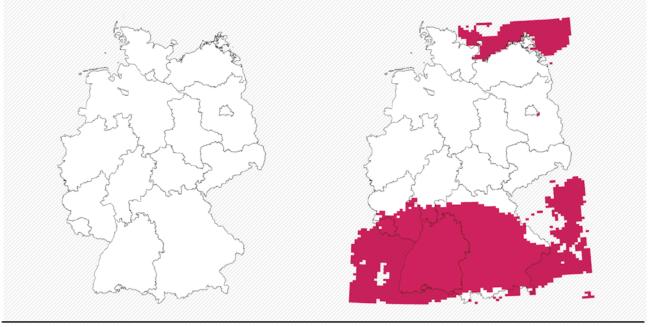
Modellergebnisse: Zielwertüberschreitungen in Rot (max. 8h-Mittel > 120 μ g/m³ an mehr als 25 Tagen); links: Ist-Zustand 2013; rechts: Meteorologie 2013 mit Emissionen 2003 .



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 13

Modellergebnisse: Zielwertüberschreitungen in Rot (AOT40 > 18.000 $\mu g/m^3$ h); links: Ist-Zustand 2013; rechts: Meteorologie 2013 mit Emissionen 2003.

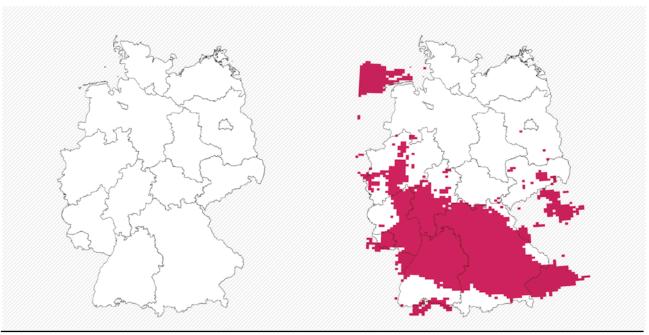


Wirkung ungünstiger meteorologischer Bedingungen Interessant ist ebenfalls, welche Ozonkonzentrationen durch die in 2013 freigesetzten Emissionen in einem Hitzesommer ähnlich dem von 2003 zu erwar-

ten wären. Dazu werden Modellergebnisse, die die meteorologischen Bedingungen der Sommermonate 2003 zugrunde legen (Abbildung 14, 15 rechts), mit denen für 2013 (Abbildung 14, 15 links) verglichen.

Abbildung 14

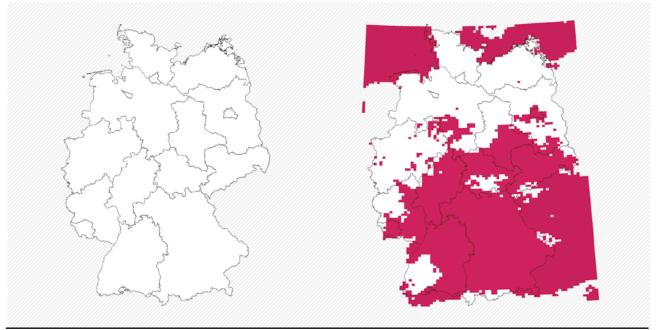
Modellergebnisse: Zielwertüberschreitungen in Rot (max. 8h-Mittel > 120 μ g/m³ an mehr als 25 Tagen); links: Ist-Zustand 2013; rechts: Meteorologie 2003 mit Emissionen 2013.



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 15

Modellergebnisse: Zielwertüberschreitungen in Rot (AOT40 > 18.000 $\mu g/m^3$ h); links: Ist-Zustand 2013; rechts: Meteorologie 2003 mit Emissionen 2013.



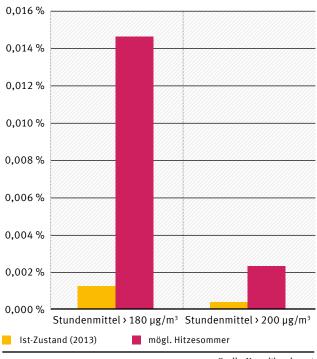
Quelle: Umweltbundesamt

Demnach käme es bei Eintreten eines Extremsommers wie 2003 trotz des aufgezeigten Erfolges der Emissionsminderungsmaßnahmen auch heutzutage noch zu großflächigen Überschreitungen der Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation.

Auch ein Vielfaches der im Jahr 2013 beobachteten Ozonspitzen wäre heutzutage unter extrem sommerlichen meteorologischen Bedingungen noch möglich (Abbildung 16). Dann würden Stundenmittelwerte von 180 μ g/m³ 12-mal öfter und von 200 μ g/m³ 7-mal öfter überschritten werden als im Sommer 2013.

Abbildung 16

Anteil Überschreitungsstunden an allen Stunden des Jahres.



Quelle: Umweltbundesamt

4. Fazit zu Ozon

Das erheblich häufigere Auftreten höherer Ozonkonzentrationen im Zeitraum April–September des Jahres 2003 im Vergleich zu 2013 hat seine Ursache im Zusammenspiel mehrerer Einflussgrößen. Im Vergleich zu April bis September 2013 gab es im Zeitraum April bis September 2003

- generell höhere Emissionen der Vorläuferstoffe NO, und NMVOC,
- sehr viel öfter hohe Temperaturen und hohe Einstrahlungsverhältnisse verknüpft mit niedrigen Windgeschwindigkeiten.

Ähnliche Temperaturen und Einstrahlung und damit ähnliche photochemische Aktivitäten herrschten im Juli 2003 und Juli 2013, mit etwas für die Ozonbildung günstigeren Bedingungen im Juli 2013. Trotzdem wurden niedrigere Ozonwerte als im Juli 2003 registriert. Dies ist mit den Emissionsminderungsmaßnahmen in der Zeit seit 2003 zu erklären (NO_x: Rückgang um 28 %, NMVOC: Rückgang um 17 %). Wie Modellierungen zeigen, hätte der Juli 2013 zu höheren Ozonkonzentrationen geführt als der Juli 2003, falls die Vorläuferemissionen auf dem Stand von 2003 verharrt wären.

Das Modell weist anhand der aktuellen Emissionen im Sommer 2013 keine flächenhaften Überschreitungen der Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit aus. Im Unterschied dazu wären mit den Emissionen 2003 großräumige Überschreitungen eingetreten.

Eine Gegenüberstellung simulierter Konzentrationswerte im Juli 2003/2013 mit den Emissionen 2003/2013 zeigt, dass die Abnahme der Vorläuferstoffe seit dem Jahr 2003 die allein auf Basis der meteorologischen Bedingungen zu erwartenden höheren Ozonwerte im Juli 2013 mehr als kompensiert hat. Andererseits wird aber auch deutlich, dass trotz erfolgreicher Emissionsminderungsmaßnahmen, in meteorologisch dem Jahr 2003 ähnlichen Sommern, nach wie vor mit sehr hohen Ozonkonzentrationswerten gerechnet werden muss.

Die Anstrengungen, die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe $\mathrm{NO_x}$ und NMVOC weiter zu mindern, müssen jedenfalls fortgeführt werden, denn die Ziele zum Schutz der menschlichen Gesundheit und von Ökosystemen werden noch immer nicht eingehalten.

Weitere Informationen:

Jährliche Auswertung Ozon

http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luft-schadstoffe/ozon

Portal Luft und Luftreinhaltung

http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft

UBA-Kartendienst zu Luftschadstoffen

http://gis.uba.de/Website/luft/index.htm

Entwicklung der Luftqualität in Deutschland

http://www.umweltbundesamt.de/luft/entwicklung.

Aktuelle Luftqualitätsdaten

http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten

Information zum Schadstoff PM₁₀

http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/feinstaub.htm

Information zum Schadstoff NO,

http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/no.htm

Information zum Schadstoff Ozon

http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/ozon.htm

Linkliste Luftreinhalte- und Aktionspläne

http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/download/public/html/Luftreinhalteplaene/uballl.htm

Quellen/Fußnoten

- 1 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
- 2 verursacher- und stoffspezifische Fortschreibung der Referenzemissionen 2005, skaliert mit den nationalen Trendtabellen
- 3 ACTM REM-CALGRID
- 4 Tatsächliche Überschreitungen des Zielwertes fanden an 12 % der Messstationen (Schutz der menschlichen Gesundheit) und 6 % der Messstationen (Schutz der Vegetation) statt. Im Gegensatz zu diesen Punktmessungen stellen die Modellergebnisse Mittelwerte für 7x8 km²-Zellen dar.





