



Faktenblatt Ozon

1 Allgemeine Daten zum Ozon

Ozon ist ein unsichtbares Gas und ein natürlicher Spurenbestandteil der Luft. Es enthält ein Sauerstoffatom (O) mehr als „normaler“ Sauerstoff (O₂) und hat daher die chemische Formel O₃. Ozon zerfällt leicht unter Bildung von Sauerstoff; es reagiert leicht mit anderen Stoffen und wirkt dabei oxidierend. In verunreinigungsfreier Luft wird Ozon unter Laborbedingungen bereits ab Konzentrationen von ca. 40 - 50 µg/m³ wahrgenommen (Geruchsschwellenwert). In normaler Umgebungsluft ist der typische Eigengeruch des Ozons jedoch erst bei viel höheren Konzentrationen eindeutig wahrnehmbar. Ozonimmissionen in den in Bayern in der Außenluft auftretenden Konzentrationen sind daher nicht zu riechen.

Ozonkonzentrationen in der Luft werden in Mikrogramm (µg) pro Kubikmeter (m³) oder in Milligramm (mg) pro Kubikmeter angegeben, darüber hinaus auch in ppm (parts per million) oder ppb (parts per billion). Bei einem Luftdruck von 1013 hPa und einer Temperatur von 20 °C besteht für Ozon folgender Zusammenhang:

$$200 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,200 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,100 \text{ ppm} = 100 \text{ ppb}$$

(1 µg = ein millionstel Gramm; 1 mg = ein tausendstel Gramm)

2 Ozonloch und bodennahe Ozonbelastung

Die Verteilung des Ozons in der Lufthülle unserer Erde (Atmosphäre) ist sehr ungleichmäßig. So befinden sich ca. 90% des Ozons in den oberen Luftschichten (Stratosphäre: ca. 10 bis 50 km Höhe). Es entsteht dort aus Sauerstoff unter dem Einfluss der ultravioletten (UV-) Strahlung. Durch das stratosphärische Ozon wird der schädliche Anteil der UV-Strahlung größtenteils absorbiert, wohingegen die für das Leben auf der Erde notwendige Licht- und Wärmestrahlung im Wesentlichen durchgelassen wird.

Seit Ende der 70er Jahre wird insbesondere über dem Südpol während unserer Herbst- und Wintermonate ein deutlicher Abbau des stratosphärischen Ozons festgestellt. Ein Phänomen, das als „Ozonloch“ bezeichnet wird. Das verursacht zu einem großen Teil Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Aktuell deuten Messungen der Ozonschicht am Südpol auf eine Erholung der Ozonschicht und eine Trendumkehr hin. Mit dem Montrealer Protokoll wurde 1987 die Reduzierung und Abschaffung ozonzerstörender Chemikalien in die Wege geleitet.

Während das stratosphärische Ozon aufgrund seiner schützenden Wirkung lebenswichtig ist, schadet eine Zunahme der Ozonkonzentration in den unteren Luftschichten (Troposphäre: bis ca. 10 km Höhe) der Umwelt.

3 Ursachen für bodennahes Ozon

Schadstoffe, wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und Staub, gelangen direkt in die Umgebungsluft (= Emission). Dort breiten sie sich je nach meteorologischen Bedingungen aus (= Transmission) und wirken dann auf die Umwelt ein (= Immission). Im Gegensatz dazu wird Ozon nur sehr selten direkt emittiert, sondern wird in der Atmosphäre im Wesentlichen aus Vorläufersubstanzen durch Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) bei höheren Temperaturen über einen komplizierten Chemismus gebildet.

Ein geringer Grundstock an Ozon in den unteren Luftschichten wird durch zeitweisen Luftaustausch – verstärkt im Winterhalbjahr bei ausgeprägten Tiefdruckwetterlagen - zwischen der oberen (Stratosphäre) und der unteren Luftschicht (Troposphäre) aufrechterhalten. Durch Extremereignisse wie starke Gewitter oder eine ausgeprägte Polarfront können aus der stratosphärischen Ozonschicht kurzzeitig auch hohe Ozonkonzentrationen, wie sie sonst nur im Sommer auftreten, bis zum Boden eingetragen werden.

Bereits im Frühjahr wird mit zunehmendem Sonnenstand unter dem Einfluss der bodennah ankommenden, energiereichen UV-Strahlung durch chemische Umwandlungen zusätzlich Ozon gebildet, das den Großteil der bodennahen Ozonkonzentration ausmacht. Die monatlich gemittelte Ozonkonzentration an den bayerischen LÜB-Messstationen liegt im Sommer etwa $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über der des Winters. Die Ozonbildung ist an sonnigen Sommertagen am stärksten ausgeprägt und führt in der Regel zu erhöhten Ozonkonzentrationen im Zeitraum zwischen ca. 13 Uhr und 19 Uhr.

Zu den Vorläufersubstanzen zählen insbesondere Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide. Dabei ist zwischen vom Menschen verursachten (anthropogenen) und natürlichen Schadstoffemissionen zu unterscheiden:

Bei anthropogenen Ursachen steht der Kraftfahrzeugverkehr an erster Stelle. Kraftfahrzeuge setzen sowohl Stickstoffoxide als auch Kohlenwasserstoffe in großen Mengen frei.

Stickstoffoxide entstehen daneben vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (z.B. Kohle, Öl, Gas) in Feuerungsanlagen von Industrie, Gewerbe und privaten Haushalten. Kohlenwasserstoffe werden darüber hinaus in größerem Umfang bei der Herstellung und Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten, insbesondere Lacken und Farben, freigesetzt.

Beide Schadstoffgruppen sind auch natürlichen Ursprungs, Stickstoffoxide werden beispielsweise bei Vulkanausbrüchen und bei Gewittern, Kohlenwasserstoffe in Wäldern und bei Gärprozessen freigesetzt.

Aus diesen Vorläufersubstanzen (Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe) entsteht über komplizierte Reaktionsmechanismen insbesondere an sehr warmen Sonnentagen großräumig Ozon in höheren Konzentrationen.

4 Immissionswerte, Verhaltensempfehlungen, Information der Öffentlichkeit

In der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39.BImSchV) sind Zielwerte sowie Informations- und Alarmschwellen für Ozon angegeben. Danach gilt ab 2010 als Zielwert ein höchster Achtstundenmittelwert eines Tages, berechnet aus stündlich gleitenden Achtstundenmittelwerten, von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - er darf im Mittel über drei Jahre an höchstens 25 Tagen eines Jahres

überschritten werden – und ein AOT40-Wert von $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$, gemittelt über 5 Jahre. In die Berechnung des AOT40-Werts fließt die Summe der Differenzen der Einstundenmittelwerte über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Zeitraum Mai bis Juli zwischen 8 Uhr und 20 Uhr (MEZ) ein. Die Informations- und Alarmschwellen liegen bei $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittelwert. Im Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) wird entsprechend der gesetzlichen Vorgaben die Ozonbelastung kontinuierlich gemessen.

Für die Unterrichtung der Bevölkerung über mögliche begrenzte und vorübergehende gesundheitliche Auswirkungen bei besonders empfindlichen Gruppen der Bevölkerung ist im Fall einer kurzen Exposition ein Wert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Informationsschwelle) während einer Stunde festgesetzt. Vorsorglich sollten Personen, die erfahrungsgemäß gegenüber Luftschadstoffen empfindlich reagieren, bei Werten über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ungewohnte und erhebliche körperliche Anstrengungen im Freien vermeiden. Ebenso wird von sportlichen Ausdauerleistungen (z.B. Jogging) abgeraten. Bei Ozonkonzentrationen über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Alarmschwelle) wird diese Empfehlung für die Gesamtbevölkerung ausgesprochen. Einzelne Personen können bei länger andauernden Ozonkonzentrationen auch im Bereich unterhalb des Informationswertes unter körperlicher Belastung Beeinträchtigungen erleiden. Kraftfahrzeugfahrten sollten bei Werten über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ soweit möglich eingeschränkt werden. Das Landesamt für Umwelt informiert die Bevölkerung über die Medien und im Internet unter dem Link [Ozoninformation](#), sobald die Informationsschwelle oder die Alarmschwelle im LÜB überschritten wird.

Die Form des Jahresgangs und des mittleren Tagesgangs der Ozonkonzentrationen wird vom Sonnenstand bestimmt. Im Winter werden aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung die geringsten Ozonkonzentrationen gemessen, im Hochsommer die höchsten. Im Frühjahr erfolgt eine schnelle Zunahme der höchsten Ozonkonzentrationen mit dem rasch zunehmendem Sonnenhöchststand, im Herbst kehrt sich die Entwicklung ebenso schnell um. Untersucht man den mittleren Tagesgang, so zeigt sich das Maximum in den Nachmittagsstunden zwischen 14 und 16 Uhr (MEZ), das Minimum wird in den frühen Morgenstunden gegen 6 Uhr (MEZ) erreicht. Der einzelne Tagesgang der Ozonkonzentration wird neben dem Sonnenstand als Primärtrieb und der vorherrschenden Schadstoffbelastung erheblich von den meteorologischen Gegebenheiten beeinflusst. Wolkenloser Himmel, möglichst windschwache Verhältnisse und sehr hohe Temperaturen über mehrere Tage hinweg, wofür stabile Hochdruckwetterlagen über Europa bei Zufuhr heißer Luftmassen die besten Voraussetzungen bilden, führen in den Sommermonaten zu den höchsten Ozonkonzentrationen im Jahr.

Räumlich betrachtet ist bei den Jahresmittelwerten ein deutlicher Unterschied zwischen den Messstationen in unmittelbarer Straßennähe, in Stadtrandgebieten und in stadtfernen Gebieten festzustellen. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass in den Gebieten mit höheren Luftschadstoffgehalten (Straßennähe, Stadtzentren) insbesondere in den Nachtstunden ein Abbau des Ozons durch Reaktionen mit den Luftschadstoffen stattfindet und sich damit insgesamt niedrigere Tages- und Jahresmittelwerte ergeben. Die höchsten Jahresmittelwerte werden regelmäßig an den stadtfernen und höhergelegenen Messstationen Bad Hindelang/Oberjoch (1169 m ü. NN), Tiefenbach/Altenschneeberg (755 m ü. NN) und Andechs/Rothenfeld (700 m ü. NN) gemessen.

Die maximalen Stundenmittelwerte unterscheiden sich zwischen den Stadtrandgebieten und stadtfernen Gebieten weniger stark. Auch hier gibt es aber i.d.R. in den Stadtgebieten und insbesondere in unmittelbarer Straßennähe niedrigere Werte.

5 Entwicklung der Ozonbelastung über einen Zeitraum von 10 Jahren

Die Langzeitauswertung der Messergebnisse auf Basis von gleitenden 12-Monatsmittelwerten über 10 Jahre zeigen bei etwa der Hälfte der Messstationen einen signifikant zunehmenden Trend der Ozon-

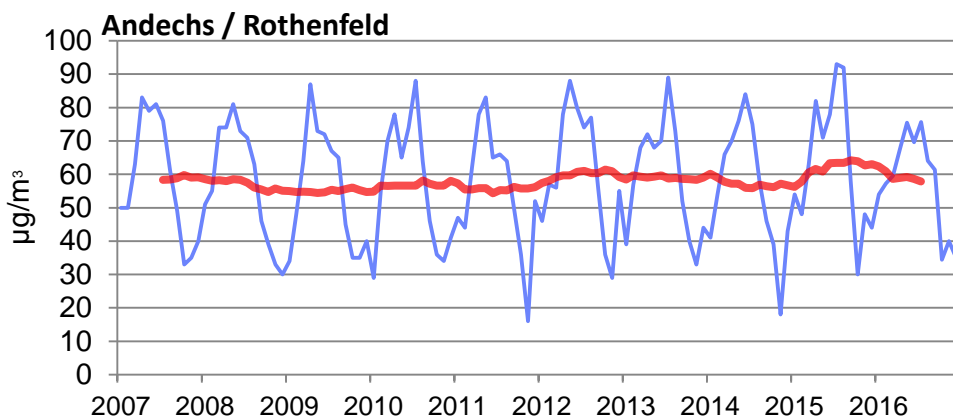
belastung (siehe Tab. 1). Bei den anderen Messstationen ist der Trend nicht signifikant zu- oder abnehmend, so dass hier keine verlässliche Aussage getroffen werden kann.

Reg.bezirk	Messstation	Gebiet	Trend	2-fache T-Std.Abw.
OB	Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	4,7	4,1
OF	Arzberg / Egerstraße	STV HG	4,3	4,6
UF	Aschaffenburg / Bussardweg	STV HG	4,7	3,2
S	Augsburg / LfU	STV HG	1,3	4,3
OB	Bad Reichenhall / Nonn	STV HG	2,9	4,3
MF	Erlangen / Kraepelinstraße	STV HG	2,9	4,7
OF	Hof / LfU	STV HG	8,9	3,5
S	Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG	2,5	3,7
UF	Kleinwallstadt / Hofstetter Str.	STV HG	6,6	5,1
OB	Mehring / Sportplatz	LA-R HG	1,6	4,2
OB	München / Johanneskirchen	STV HG	3,7	3,7
OB	München / Lothstraße	ST HG	4,7	2,9
OB	München / Stachus	ST VK	2,3	3,3
OF	Naila / Selbitzer Berg	LA-ST HG	4,4	3,7
NB	Neustadt a.d.Donau / Eining	LA-R HG	4,2	3,4
S	Neu-Ulm / Gabelsbergerstraße	ST HG	3,6	2,7
NB	Regen / Bodenmaier Straße	STV HG	3,4	3,1
UF	Schweinfurt / Obertor	ST HG	2,3	3,2
OP	Tiefenbach / Altenschneeberg	LA-R HG	3,8	4,7
OB	Trostberg / Schwimmbadstraße	STV HG	6,4	4,5
OP	Weiden i.d.OPf. / Nikolaistraße	ST HG	0,2	3,3
UF	Würzburg / Kopfklinik	STV HG	6,0	4,0

Tabelle 1: 10-Jahres Trend (2007 – 2016) und 2-fache T-Standardabweichung* des gleitenden 12-Monatsmittelwerts der Ozonmessstationen als Kriterium für signifikante Änderungen. (Abk. für die Gebietszuordnung: STV: vorstädtisch, ST: städtisch, LA-R: ländlich regional, LA-ST: ländlich stadtnah, HG: Hintergrund, VK: Verkehr).

* Der i-te Gleitmittelwert wird dabei nicht auf den arithmetischen Mittelwert des betrachteten Zeitraums bezogen, sondern auf den Trendwert zum i-ten Zeitpunkt (entspricht dem Schnittpunkt mit der Trendgeraden).

Die langfristigen Verläufe der Ozon-Konzentrationen von 2007 bis 2016 sind nachfolgend beispielhaft für die Messstationen Andechs/Rothenfeld, München/Johanneskirchen und München/Stachus dargestellt:



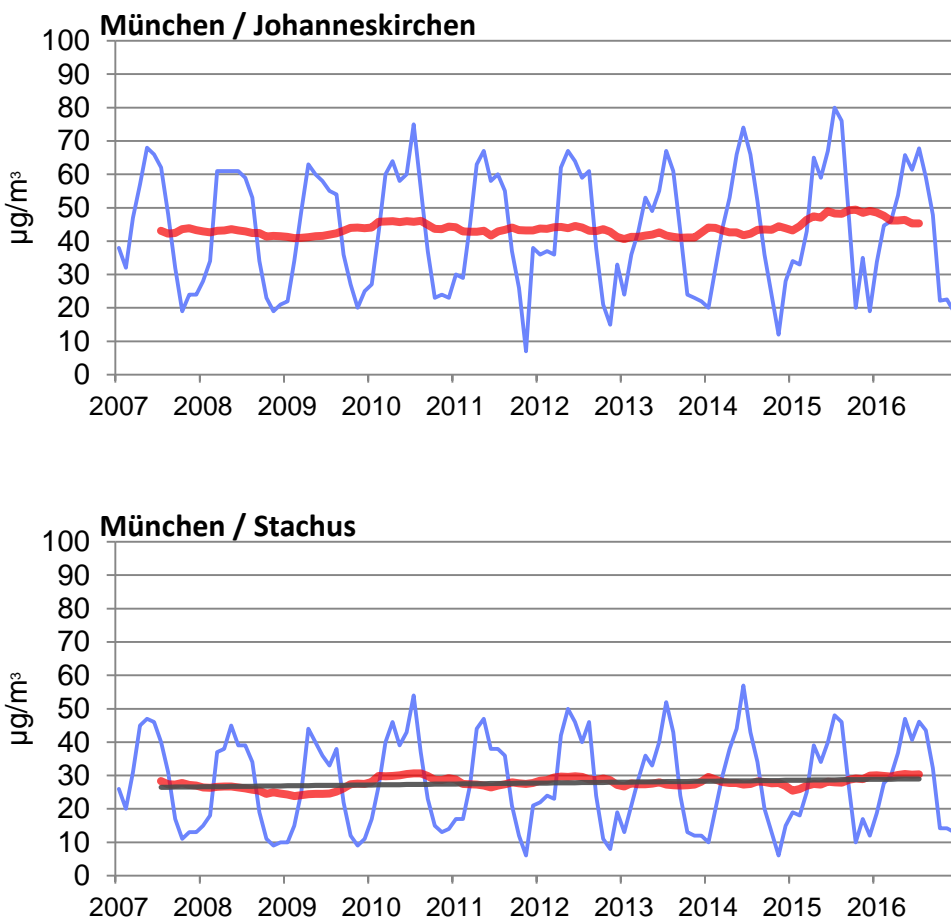


Abbildung 2 bis 4: Entwicklung der Ozonkonzentration über 10 Jahre (2007-2016) an den LÜB-Messstationen in Andechs (ländlicher Hintergrund), München/Johanneskirchen (vorstädtischer Hintergrund) und München/Stachus (Verkehr). Die blaue Linie zeigt die Monatsmittelwerte, rot eingefärbt ist der gleitende 12-Monatsmittelwert und schwarz die Trendgerade. Die Werteskala ist für alle drei Messstationen gleich gewählt, um die unterschiedliche Belastung zu verdeutlichen. Weitere Langzeitverläufe können unter nachfolgendem Link abgerufen werden: <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/langzeitverlaeufe/index.htm>

Die rückblickende Betrachtung der Überschreitungen der Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eignet sich nur bedingt, um eine generelle Zu- oder Abnahme abzulesen, weil aus statistischer Sicht die Datenmenge mit Überschreitungen zu gering ist. Feststellbar ist, dass die regelmäßige Häufung von Überschreitungstagen der Informationsschwelle in den 90er Jahren seit der Jahrtausendwende nicht mehr beobachtet werden kann. Jedoch kommt es in Einzeljahren immer wieder zu einer größeren Anzahl an Überschreitungstagen. So etwa im Hitzesommer 2003 oder in den Jahren 2013 und zuletzt 2015. Die Alarmschwelle wurde seit 2003 nicht mehr überschritten. Während in den 90er Jahren hohe Spitzenwerte von regelmäßig über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorwiegend auf die damals höheren Belastungen an Ozonvorläufersubstanzen zurückzuführen sind, sind es im zurückliegenden Jahrzehnt mit überwiegend abnehmenden Schadstoffemissionen einzelne Tage mit extremen Temperaturen von zum Teil über $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Aufgrund der zu beobachtenden globalen Erwärmung, die auch in den nächsten Jahren für eine höhere Wahrscheinlichkeit heißer Perioden gegenüber dem letzten Jahrhundert sorgt, ist auch weiterhin mit einzelnen hohen Spitzenwerten zu rechnen.

Jahr	Anzahl der Tage		Maximaler Stundenmittelwert	
	> 180 µg/m ³	> 240 µg/m ³	µg/m ³	LÜB-Station
1990	9	0	205	Aschaffenburg, Bussardweg
1991	6	0	221	Warmensteinach / Wagenthal
1992	10	1	266	Aschaffenburg, Bussardweg
1993	7	1	242	Aschaffenburg, Bussardweg
1994	21	0	239	München, Johanneskirchen
1995	14	0	225	Ansbach, Residenzstraße
1996	4	0	217	Aschaffenburg, Bussardweg
1997	2	0	227	Kleinwallstadt, Hofstetter Straße
1998	12	1	242	Aschaffenburg, Bussardweg
1999	1	0	183	Tiefenbach, Altenschneeberg
2000	8	0	209	Kleinwallstadt, Hofstetter Straße
2001	9	0	217	Neu-Ulm, Gabelsbergerstraße
2002	1	0	182	München, Lothstraße
2003	21	3	262	Kleinwallstadt, Hofstetter Straße
2004	3	0	192	Aschaffenburg, Bussardweg
2005	5	0	192	Aschaffenburg, Bussardweg; München, Johanneskirchen
2006	11	0	216	Aschaffenburg, Bussardweg
2007	2	0	196	Neustadt a.d.Donau, Eining
2008	0	0	170	Erlangen, Kraepelinstraße; Kleinwallstadt, Hofstetter Straße
2009	0	0	164	Andechs, Rothenfeld
2010	9	0	198	Andechs, Rothenfeld
2011	1	0	182	Andechs, Rothenfeld
2012	3	0	196	Erlangen, Kraepelinstraße
2013	5	0	225	Erlangen, Kraepelinstraße
2014	2	0	206	Nürnberg, Muggenhof
2015	16	0	217	Aschaffenburg, Bussardweg; Neustadt a.d.Donau, Eining
2016	1	0	183	Neu-Ulm, Gabelsbergerstraße

Tabelle 2: Maximale Stundenmittelwerte für Ozon von 1990 bis 2016, die aufgrund eines Ozonstundenmittelwerts von über 180 µg/m³ zur Information der Öffentlichkeit führten.

In der vorläufigen Auswertung zur Luftqualität 2013 hat das Umweltbundesamt an Hand von Modellrechnungen die hohe Ozonbelastung des Hitzesommers 2003 mit dem Jahr 2013 für den Monat Juli verglichen. Hintergrund: Obwohl die Lufttemperatur in Deutschland im Juli 2013 deutlich über dem langjährigen Mittel gelegen hat und die meteorologischen Voraussetzungen zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen sogar als etwas günstiger als im Juli 2003 eingestuft werden können, wurden geringere Ozonwerte gemessen. Gegenüber 2003 ist gleichzeitig für 2013 eine deutliche Verringerung der Ozonvorläufersubstanzen NO_x (Stickstoffoxide) und NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) bekannt. Das Umweltbundesamt kommt bei seinen Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen: *„Wären im Juli 2013 noch die hohen Emissionen des Jahres 2003 freigesetzt worden, hätte dies in großen Teilen Deutschlands zu höheren Ozonwerten geführt [...]. 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 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.“* (Quelle: www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2013)

Impressum:**Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

Ref. 24

Bildnachweis:

LfU

Stand:

Juli 2017

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.