



Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB)

Infoblatt Ozon

1 Allgemeine Daten zum Ozon

Ozon ist ein farbloses Gas und ein natürlicher Spurenbestandteil der Luft. Es enthält im Molekül ein Sauerstoffatom (O) mehr als „normaler“ Sauerstoff (O₂) und hat daher die chemische Formel O₃. Ozon zerfällt unter Bildung von Sauerstoff; es reagiert leicht mit anderen Stoffen und wirkt dabei oxidierend. In reiner 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 erst bei viel höheren Konzentrationen eindeutig wahrnehmbar. Ozon in den in Bayern in der Außenluft auftretenden Konzentrationen ist 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, 10⁻⁶) oder ppb (parts per billion¹, 10⁻⁹). 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, 10⁻⁶ g; 1 mg = ein tausendstel Gramm, 10⁻³ g)

2 Ozonloch und bodennahe Ozonbelastung

Die Verteilung des Ozons in unserer Erdatmosphäre ist sehr ungleichmäßig. So befinden sich ca. 90 % des Ozons in der Stratosphäre (ca. 10 bis 50 km Höhe). Dort bildet sich aus Sauerstoff unter dem Einfluss der kurzwelligeren ultravioletten Strahlung² Ozon. Die optimalen Verhältnisse zur Ozonbildung liegen dabei in einem Höhenbereich von 15 bis 25 km resultierend in dem höchsten Ozongehalt. Dieser Bereich wird als Ozonschicht bezeichnet. 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.

¹ angloamerikanisch, entspricht der deutschen Milliarde

² ultraviolett: Abkürzung UV, Wellenlängenbereich 0,1 bis 0,4 µm

Seit Ende der 1970er Jahre wird insbesondere über dem Südpol während der Herbst- und Wintermonate ein deutlicher Abbau des stratosphärischen Ozons festgestellt. Ein Phänomen, das als „Ozonloch“ bezeichnet wird. Es wird zu einem großen Teil von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) verursacht. Messungen zeigen zwar eine Regeneration der Ozonschicht am Südpol, allerdings vollzieht sich diese langsamer als erwartet. Mit dem Montrealer Protokoll³ wurden im Jahr 1987 die Reduzierung und Abschaffung ozonzerstörender Chemikalien in die Wege geleitet. Jedoch wird immer noch eine bedeutende Menge an nicht geregelten halogenierten Verbindungen freigesetzt.

Während das stratosphärische Ozon aufgrund seiner schützenden Wirkung für das Überleben auf der Erde wichtig ist, schadet eine Zunahme der Ozonkonzentration in der bodennahen Luftschicht der Umwelt.

Weitere Informationen zur Ozonschicht und zum Ozonloch sind in unserem Internetangebot unter dem Link https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_48_ozonschicht_ozonloch.pdf abrufbar.

3 Ursachen für bodennahes Ozon

Schadstoffe, wie z. B. Stickstoffoxide und Feinstaub, gelangen direkt in die Umgebungsluft (= Emission). Dort breiten sie sich in der Luft beeinflusst durch die vorherrschenden meteorologischen Verhältnisse aus (= Transmission) und wirken auf die Umwelt ein (= Immission).

Ozon dagegen wird nur selten direkt emittiert. In der Troposphäre⁴ und hier besonders in der bodennahen Schicht wird es im Wesentlichen aus sogenannten Vorläufersubstanzen unter Einwirkung kurzweiliger Sonnenstrahlung im Zusammenspiel komplexer chemischer Reaktionen gebildet. Diese Reaktionen laufen bei höheren Temperaturen zudem beschleunigt ab.

Ein Grundstock an Ozon wird durch zeitweisen – turbulenten – Luftaustausch zwischen der Stratosphäre und Troposphäre aufrechterhalten. Häufiger ist dies im Winter bei ausgeprägten Tiefdruckwetterlagen der Fall. Bei starken Gewittern oder bei einer ausgeprägten Polarfront fällt die Einmischung von der stratosphärischen Ozonschicht in die Troposphäre intensiver aus.

Bereits im Frühjahr wird mit zunehmendem Sonnenstand unter dem Einfluss des langwelligeren Anteils der UV-Strahlung, der nicht bereits von der Ozonschicht absorbiert wurde, durch chemische Umwandlungen mit bestimmten Luftschadstoffen netto Ozon gebildet. Dadurch wird der natürliche Grundstock an Ozon auf ein Niveau erhöht, das Mensch und Umwelt kurz-, mittel- und langfristig schädigen kann.

Zu den sog. 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. Verbrennungsmotoren setzen sowohl Stickstoffoxide als auch Kohlenwasserstoffe in größeren 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

³ Baumann, S.; Elsner, C.; de Graaf, D.; Hoffmann, G.; Martens, K.; Noack, C.; Plehn, W.; Ries, L.; Thalheim, D.: 1987 – 2017: 30 Jahre Montrealer Protokoll. Vom Ausstieg aus den FCKW zum Ausstieg aus teilfluorierten Kohlenwasserstoffen. Hrsg. vom Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Juli 2017, 33 S.

[1987 - 2017: 30 Jahre Montrealer Protokoll \(umweltbundesamt.de\)](#) (zuletzt abgerufen am 12.11.2021)

⁴ Unterster Teilbereich der Erdatmosphäre, der von der Erdoberfläche bis zur Stratosphäre reicht. Vertikale Ausdehnung ca. 11 km, in den Tropen recht konstant bei 17 km, in Polargebieten jahreszeitabhängig zwischen ca. 6 bis 10 km (Quelle: Schönwiese, C.-D.: Klimatologie. (3. Auflage). Eugen Ulmer, Stuttgart 2008)

größeren 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 komplexe Reaktionsmechanismen insbesondere an sehr warmen Sonnentagen großräumig Ozon in höheren Konzentrationen.

Weitere Informationen zum bodennahen Ozon sind in unserem Internetangebot unter dem Link https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_47_bodennahes_ozon.pdf abrufbar.

4 Immissionswerte und Information der Öffentlichkeit

In der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV⁵) sind Zielwerte sowie Informations- und Alarmschwellen für Ozon angegeben.

Danach gilt seit dem Jahr 2010 zum Schutz der menschlichen Gesundheit ein Zielwert von 120 µg/m³ als höchster 8-Stunden-Mittelwert während eines Tages bei 25 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr. Maßgebend für die Beurteilung ist die Zahl gemittelt über drei Jahre.

Zum Schutz der Vegetation gilt der Zielwert AOT40⁶ mit 18000 µg/m³ × h. In die Berechnung fließt die Summe der Differenzen der 1-Stunden-Mittelwerte über 80 µg/m³ zu 80 µg/m³ im Zeitraum von Mai bis Juli zwischen 8 Uhr und 20 Uhr (MEZ, mitteleuropäische Zeit) ein.

Die Informations- und Alarmschwellen liegen bei 180 µg/m³ bzw. 240 µg/m³ als Stundenmittelwerte. Die Ozonbelastung wird im Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) entsprechend der gesetzlichen Vorgaben kontinuierlich gemessen.

Das Landesamt für Umwelt informiert die Bevölkerung über die Medien und im Internet unter dem Link <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/ozon/index.htm> > Ozoninformation, sobald die Informations- oder die Alarmschwelle im LÜB überschritten wird

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 µg/m³ (Informationsschwelle) während einer Stunde festgesetzt. Vorsorglich sollten Personen, die erfahrungsgemäß gegenüber Luftschadstoffen empfindlich reagieren, bei Werten über 180 µg/m³ ungewohnte und erhebliche körperliche Anstrengungen im Freien vermeiden. Ebenso wird von sportlichen Ausdauerleistungen (z. B. Jogging) abgeraten. Bei Ozonkonzentrationen über 240 µg/m³ (Alarmschwelle) wird diese Empfehlung für die Gesamtbevölkerung ausgesprochen. Einzelne Personen können bei länger andauernden Ozonkonzentrationen auch im Bereich unterhalb des Informationswerts unter körperlicher Belastung Beeinträchtigungen erleiden. Kraftfahrzeugfahrten mit Verbrennungsmotoren sollten bei Werten über 180 µg/m³ soweit möglich eingeschränkt werden.

⁵ Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV). Vom 2. August 2010.

BGBl. I (2010) 40, S. 1065–1104

Zuletzt geändert durch Artikel 112 der Elften Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 19. Juni 2020.

BGBl. I (2020) 29, S. 1328–1370

⁶ „Accumulation over a Threshold of 40 ppb“ (AOT40)

5 Zeitlicher Verlauf und räumliche Unterschiede der bodennahen Ozonkonzentration

Der Sonnenstand bestimmt den Jahres- und den mittleren Tagesverlauf der bodennahen Ozonkonzentrationen. Im Winter werden aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung (flachstehende Sonne und kürzere Tageslänge) die geringsten Ozonkonzentrationen gemessen. Im Frühjahr erfolgt eine schnelle Zunahme der mittleren und höchsten Ozonkonzentrationen mit der rasch zunehmenden Sonneneinstrahlung; im Herbst kehrt sich die Entwicklung ebenso schnell um. Im Mittel liegt die Ozonkonzentration an den bayerischen LÜB-Messstationen im Sommer etwa bei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über der des Winters. 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 Verhältnissen beeinflusst. Bei wolkenlosem Himmel, geringen Windgeschwindigkeiten und sehr hohen Temperaturen über mehrere Tage hinweg werden in den Sommermonaten die höchsten Ozonkonzentrationen gemessen. Stabile und ausgedehnte Hochdruckwetterlagen mit einer ungestörten Anreicherung über viele Tage begünstigen dies. Die höchsten Konzentrationen treten an solchen Tagen in der Regel zwischen 13 Uhr und 19 Uhr auf. In Siedlungsgebieten zeigen die Messungen einen ausgeprägten Tagesgang. Während der Vormittagsstunden ist regelmäßig ein rascher Anstieg zu beobachten, während in den Nachtstunden ein deutlicher Rückgang erfolgt, der in verkehrsreichen Gebieten bis auf Null absinken kann. Während der nächtliche Abbau der Ozonkonzentrationen durch die vorhandenen Luftschadstoffe erfolgt, wird der zu beobachtende rasche vormittägliche Anstieg nicht nur durch die zunehmende Sonneneinstrahlung als Energiequelle für die photochemischen Reaktionen angetrieben. Zu einem beträchtlichen Anteil trägt dazu die bodennahe Einmischung von Ozon aus höheren Luftschichten mit der einsetzenden Konvektion bei. Voraussetzung ist, dass sich in den höheren Schichten bereits ein gewisses Reservoir an Ozon aufgebaut hat, das nicht nur photochemisch gebildet wird, sondern auch durch Advektion von weiter entfernten Regionen herantransportiert werden kann.

Räumlich (horizontal) betrachtet ist bei den Ozonkonzentrationen gemittelt über ein Jahr 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 bodennah gegenüber quellfernen Gebieten ein deutlicher Abbau des Ozons durch Reaktionen mit den Luftschadstoffen stattfindet. Damit ergeben sich niedrigere Tages- und Jahresmittelwerte. Die höchsten Jahresmittelwerte werden regelmäßig an den stadtfernen und höhergelegenen Messstationen gemessen. Die maximalen Stundenmittelwerte unterscheiden sich zwischen den Stadtrandgebieten und stadtfernen Gebieten weniger stark. In den verkehrsreicheren Stadtgebieten treten meist niedrigere Spitzenwerte auf. An Messstellen in unmittelbarer Straßennähe werden die geringsten Höchstwerte gemessen. Hier kann gebildetes Ozon durch das Überangebot an Stickstoffmonoxid unmittelbar zu Sauerstoff abgebaut werden.

6 Entwicklung der Ozonbelastung

Die Langzeitauswertungen der Messergebnisse auf Basis von gleitenden 12-Monatsmittelwerten über die letzten zehn Jahre mit Verlaufsgrafiken und Trendberechnungen zeigen bei allen Messstationen einen signifikant zunehmenden Trend der mittleren Ozonbelastung; abrufbar in unserem Internetangebot unter dem Link <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/langzeitverlaeufe/index.htm> > Ozon.

Bei den jährlich auftretenden kurzzeitigen Spitzenwerten (Stundenmittelwerte), bei denen im Fall von Überschreitung vorgegebener Schwellen die Bevölkerung zu unterrichten ist (siehe Kapitel 4), stellt sich die Situation differenzierter dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die rückblickende Betrachtung der Überschreitungen der Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sich nur bedingt eignet, um eine generelle Zu- oder Abnahme abzulesen. Aus statistischer Sicht ist dafür die Datenmenge mit Überschreitungen zu gering.

Feststellbar ist, dass die regelmäßige Häufung von Überschreitungstagen der Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den 1990er Jahren etwa seit der Jahrtausendwende nicht mehr zu beobachten ist. Jedoch kommt es in Einzeljahren immer wieder zu einer größeren Anzahl an Überschreitungstagen. So etwa im Hitzesommer 2003 oder zuletzt im Jahr 2015. In der Ozonsaison 2018 wurde festgestellt, dass trotz geeigneter Witterungsbedingungen nur an drei Tagen eine Überschreitung der Informationsschwelle auftrat, vergleiche Einschätzung des Umweltbundesamts unter dem Link <https://www.umweltbundesamt.de/themen/ozon-im-sommer-2018-hohe-werte-aber-wenig-extreme>.

Die neben der Informationsschwelle geltende Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde seit dem Jahr 2003 nicht mehr überschritten.

Während in den 1990er Jahren die häufig auftretenden hohen Spitzenwerte 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 u. a. eine Häufung heißer und trockener Witterungsabschnitte bewirkt, ist nach derzeitiger Einschätzung auch weiterhin mit einzelnen, in extremen Ausnahmesituationen auch häufiger mit hohen Spitzenwerten zu rechnen.

Das Umweltbundesamt hat zum Einfluss der rückläufigen Ozonvorläufersubstanzen in seiner Auswertung zur Luftqualität 2013 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 dem Jahr 2003 ist für das Jahr 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: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/luftqualitaet-2013>. Zuletzt abgerufen am 12.11.2021)

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

LfU, Referat 24

Bildnachweis:

LfU, Referat 24

Stand:

November 2021

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden 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.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation 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. 0 89 12 22 20 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.