



## Bodennahes Ozon und Sommersmog

Es gibt nur ein Ozon, aber es hat zweierlei Wirkungen: Das Ozon in der Ozonschicht schützt uns vor der UV-Strahlung der Sonne. Anders das bodennahe Ozon: Es schädigt Menschen, Pflanzen und Ökosysteme. Bei schönem, warmem Wetter wird im Sommer manchmal sehr viel Ozon gemessen – ein Teil des Sommersmogs.

Diese Publikation erläutert die komplexen Zusammenhänge beim Auf- und Abbau von Ozon, die in Stadt und Land zu sehr unterschiedlichen Konzentrationen führen. Die langfristige Entwicklung wird ebenso diskutiert wie die Beurteilung von Messwerten. Auch gesetzgeberische und konkrete Alltagsmaßnahmen sind Thema.

**Photochemischer Smog** oder auch **Sommersmog** („smog“: englisch aus smoke und fog) ist ein komplexes Gemisch aus verschiedenen reaktiven Substanzen:

- Am wichtigsten ist das Ozon, eines der stärksten Oxidationsmittel und daher einer der reaktionsfähigsten Stoffe, die wir kennen. Es wirkt reizend auf Augen und Schleimhäute.
- Daneben spielt noch eine Vielzahl weiterer Reizstoffe eine Rolle, zum Beispiel Peroxyacetylnitrat (PAN), Peroxybenzoylnitrat (PBN), Acrolein und Formaldehyd. Auch Zwischen- oder Endprodukte des Abbaus organischer Verbindungen kommen vor.

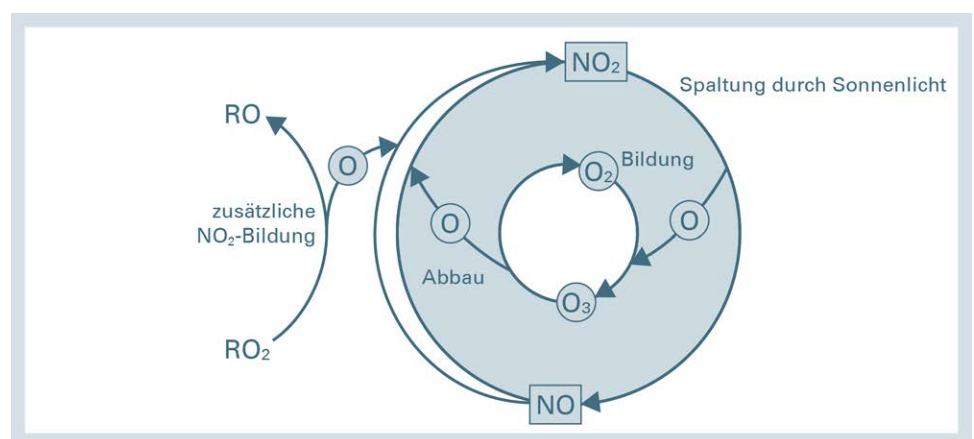
## ENTSTEHUNG VON BODENNAHEM OZON

Ozon ( $O_3$ ) entsteht aus Vorläufersubstanzen: Am wichtigsten sind die Stickstoffoxide ( $NO_x$ ) und die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds). Die chemischen Umwandlungen brauchen etwas Zeit, sie laufen zum Beispiel ab, während Schadstoffe mit Luftströmungen transportiert werden. Die Energie dafür kommt aus dem Sonnenlicht, deshalb spricht man von einer photochemischen Reaktion.

**Stickstoffdioxid ( $NO_2$ )** ist der wichtigste Vorläufer für die Ozonbildung. Durch UV-Licht zerfällt es zu Stickstoffmonoxid (NO) und atomarem Sauerstoff (O), der sich sofort mit Luft-Sauerstoff ( $O_2$ ) zu Ozon ( $O_3$ ) verbindet. Diese Reaktion läuft auch in umgekehrter Richtung ab, so dass sich ein bestimmtes Verhältnis zwischen Ozonbildung und -zerfall und damit eine spezifische Ozonkonzentration einstellt.

**Flüchtige organische Verbindungen (VOC)** ermöglichen die Reaktion von Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ), aus dem wiederum Ozon entsteht. Gleichzeitig wird weniger Ozon abgebaut, weil auch weniger Stickstoffmonoxid (NO) vorhanden ist. Insgesamt steigt also die Ozonkonzentration. Besonders ungesättigte organische Verbindungen wie Olefine oder Aromaten, aber auch Kohlenmonoxid (CO) tragen stark zur Ozonbildung bei.

Abb. 1:  
Ozon entsteht durch die Reaktion mehrerer Vorläufersubstanzen bei Sonnenlicht. (R = Rest, also verschiedenste organische Verbindungen, aus denen ein Sauerstoffatom herausgelöst werden kann)



Das **Verhältnis der Vorläufersubstanzen** ist für die Ozonbildung sehr wichtig. Wie bei allen chemischen Reaktionen müssen die Komponenten in einem bestimmten Verhältnis vorhanden sein. Mehr von einer Substanz verstärkt die Reaktion also nicht, wenn andere Substanzen fehlen.

Die **Menge der Vorläufersubstanzen** ist dagegen nicht so ausschlaggebend, weil ein einziges  $\text{NO}_2$ -Molekül mehrfach zur Ozonbildung beitragen kann, wenn flüchtige organische Verbindungen (VOC) vorhanden sind. Das beeinflusst sehr stark die regionale Verteilung der Ozonkonzentration.

Die **Sonne** liefert die Energie für die Ozonbildung. Daher werden hohe Werte vor allem an sonnigen Sommertagen gemessen, besonders bei längeren Schönwetterperioden. Am höchsten ist die Konzentration am Nachmittag und am frühen Abend, also etwa zwischen 13 und 19 Uhr. Nachts sinkt die Konzentration: Zum einen wird ohne Licht kein Ozon neu gebildet, zum anderen wird das vorhandene Ozon abgebaut, wenn genügend Schadstoffe vorhanden sind.

Auch **hohe Temperaturen** fördern die Ozonbildung, weil mehr flüchtige organische Verbindungen (VOC) aus der Vegetation und aus Lösemitteln entweichen. Außerdem beschleunigen sich alle chemischen Reaktionen bei höherer Temperatur.

**Hauptquelle** für die Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) ist zu 60 Prozent der Verkehr. Weitere 30 Prozent tragen Feuerungsanlagen in Industrie und Kraftwerken bei. Die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) stammen etwa zu einem Viertel aus dem Verkehr. Etwa 60 Prozent verdunsten aus Lösemitteln, zum Beispiel aus Farben und Lacken.

## OZONKONZENTRATIONEN IN STADT UND LAND

Wie alle Luftschadstoffe verteilen sich Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) und flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC) mit der Luftströmung. Dabei werden sie verdünnt und haben Zeit, miteinander zu reagieren. Daher misst man hohe Ozonkonzentrationen nicht nahe an befahrenen Straßen, sondern eher im ländlichen Bereich. Ursache und Wirkung fallen also räumlich auseinander. Folgende Zusammenhänge sind dabei wichtig:

- **An stark befahrenen Stadtstraßen ist die Ozonkonzentration gering.** Hier misst man zwar viele Vorläufersubstanzen, zugleich ist aber reichlich Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) vorhanden, so dass viel Ozon abgebaut wird. Hier sinkt die Ozonkonzentration nachts besonders stark, weil das Sonnenlicht fehlt.
- **In verkehrsfernen Bereichen kann die Ozonkonzentration relativ hoch sein,** zum Beispiel in Parks oder am Stadtrand. Die Vorläufersubstanzen gelangen mit Luftströmungen hierher und haben daher Zeit, miteinander zu reagieren. Dabei wandelt sich Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) in Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) um. Daraus entsteht zusätzliches Ozon, während zugleich weniger Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) vorhanden ist, das Ozon abbauen könnte. Generell ist der Ozonabbau hier geringer, weil nur wenige Schadstoffe vorhanden sind. Auch nachts sinkt die Ozonkonzentration nicht so stark.
- **In ländlichen Regionen ist die Ozonkonzentration deutlich höher als im städtischen Bereich.** Die Prozesse, die sich in verkehrsfernen Parks oder am Stadtrand zeigen, erhöhen auch im ländlichen Bereich die Ozonbildung. Hinzu kommen flüchtige organische Verbindungen (VOC) zum Beispiel aus Wäldern, die die Ozonbildung weiter verstärken. Der Unterschied zwischen ländlichen und städtischen Regionen zeigt sich vor allem, wenn man die Messwerte über einen längeren Zeitraum mittelt (zum Beispiel Tagesmittelwerte) – die Spitzenwerte unterscheiden sich weniger stark (zum Beispiel die maximalen Stundenmittelwerte).



UmweltWissen

↓ Umweltmedium Luft



Abb. 2:  
An verkehrsreichen Straßen im Stadtgebiet ist die Ozonkonzentration gering.



Abb. 3:  
In Parks oder am Stadtrand sind die Ozonkonzentrationen oft höher.



Abb. 4:  
Besonders viel Ozon misst man an heißen Sommertagen auf dem Land.

## GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN

Ozon ist sehr reaktiv und wirkt dort, wo es auftritt: Es reizt Schleimhäute, Augen und das Lungengewebe. Durch seine geringe Wasserlöslichkeit wird es in den oberen Atemwegen kaum zurückgehalten und dringt bis in die feinen Lungenbläschen vor.

Je nach **Konzentration** des Ozons wurden in Inhalationskammern Geruchsbelästigungen, verstärkter Hustenreiz, verminderte sportliche Leistung und ab etwa 160 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) eine Verminderung der Lungenfunktionen beobachtet (bei sechsstündiger Expositionsdauer). Diese Wirkungen gehen nach Beendigung der Exposition wieder zurück.

**Körperliche Belastung** und ihre **Dauer** sind von großer Bedeutung für die gesundheitsgefährdende Wirkung. Denn wer sich körperlich anstrengt, atmet mehr und tiefer. Je länger und aktiver man sich daher im Freien bewegt, desto mehr Ozon nimmt man auf.

Zur **Risikogruppe** zählen Personen, die sich häufig längeren, anstrengenden körperlichen Tätigkeiten an heißen Sommertagen im Freien aussetzen. Dies sind vor allem Arbeiter, aber auch spielende Kinder oder Menschen, die im Freien ihre Freizeit gestalten. Eine Sonderrolle nehmen Kleinkinder ein: Sie haben einen sehr hohen Sauerstoffbedarf und atmen daher selbst bei Ruhe so viel Luft pro Minute ein, wie ein Erwachsener bei körperlicher Betätigung (bezogen auf ihr Körpergewicht). Vorsicht ist auch bei Krankheiten wie etwa Asthma oder bei besonderer Ozonempfindlichkeit geboten.

## BEURTEILUNG VON OZONKONZENTRATIONEN

Während einer Sommersmog-Wetterlage können die Ozon-Konzentrationen über mehrere Stunden hoch sein. Daher bezieht sich ein Beurteilungswert zum Schutz der menschlichen Gesundheit auf einen Zeitraum von acht Stunden. Um auch Belastungsspitzen zu vermeiden, wurden zusätzlich Schwellenwerte festgelegt, die über eine Stunde gemittelt werden.

Um gesundheitlichen Risiken vorzubeugen, gibt es mehrere Beurteilungswerte:

- **Zielwert:** 120 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8-Stunden-Mittelwert)
- **Schwellenwert für die Information** der Bevölkerung: 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stunden-Mittelwert). Gesundheitlich eingeschränkte Personen sollten auf anstrengende Tätigkeiten im Freien verzichten. Auch Ausdauersport sollte vermieden werden.

- **Schwellenwert für die Auslösung von Ozon-Alarm:** 240 µg/m<sup>3</sup> (1-Stunden-Mittelwert). Die gesamte Bevölkerung sollte auf anstrengende Tätigkeiten im Freien verzichten.

**Die langfristige Entwicklung ist zweigeteilt:** Einerseits zeigen verschiedene Auswertungen fast überall höhere Ozonwerte, wenn man über längere Zeiträume mittelt. Zum Beispiel war die durchschnittliche Ozonbelastung in den heißen Sommern 2015 und 2018 besonders hoch. Andererseits sind die kurzzeitigen Spitzenwerte deutlich weniger geworden. So kommt es seit der Jahrtausendwende seltener zu einer gehäuften Überschreitung der Informationsschwelle, zuletzt zum Beispiel in den Jahren 2006, 2010 und 2015 an sehr heißen und sonnigen Tagen. Die Alarmschwelle wurde seit 2004 gar nicht mehr überschritten.

Der Grund für die zweigeteilte Entwicklung liegt einerseits darin, dass die Schadstoffemissionen europaweit abnehmen. Insgesamt sind also deutlich weniger Vorläufersubstanzen vorhanden. Andererseits ist durch die globale Erwärmung auch in den nächsten Jahren häufiger mit heißer, trockener Witterung zu rechnen. Daher wird es auch weiterhin zu einzelnen hohen Spitzenwerten kommen.



Bayerisches Landesamt für Umwelt

- ↓ Ozonkarten der vergangenen 24 Stunden
- ↓ Ozonbericht
- ↓ Aktuelle Messwerte aus der Überwachung von Luftschadstoffen

Umweltbundesamt

- ↓ Ozon im Sommer 2019: hohe Werte aber wenig Extreme
- ↓ Luftqualität 2013 (S. 10 ff.)

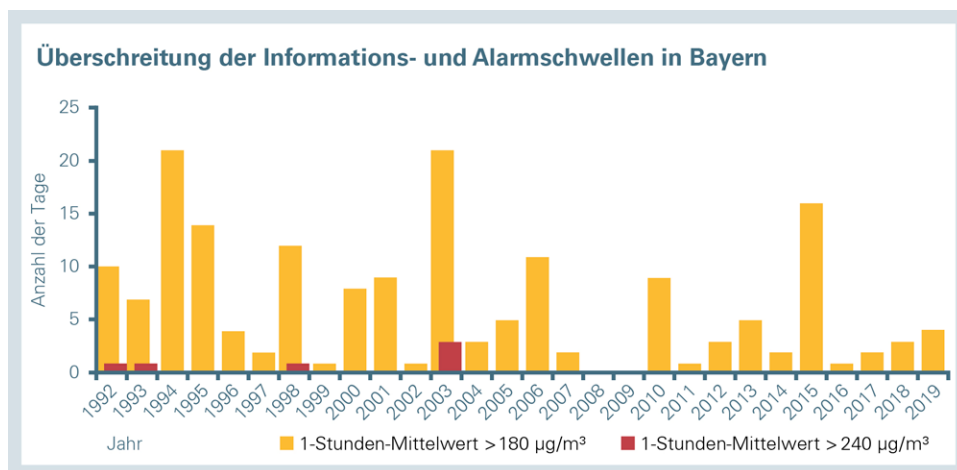


Abb. 5:  
Hohe Kurzzeitwerte beim Ozon sind mittlerweile selten; das liegt an der europaweiten Reduktion der Vorläufersubstanzen. Nur an sehr heißen und sonnigen Tagen kann gelegentlich die Informationsschwelle überschritten werden.

## MASSNAHMEN

Gerade in der Luftreinhaltung sind überregionale, abgestimmte Maßnahmen besonders effektiv. Daher liegt europaweit der Schwerpunkt nach wie vor darauf, den **Ausstoß der Vorläufersubstanzen** zu senken. Dafür gibt es Höchstwerte, die nicht überschritten werden dürfen: Zum Beispiel darf Deutschland pro Jahr 995 Kilotonnen flüchtige organische Verbindungen (VOC, ohne Methan) und 1.052 Kilotonnen Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) ausstoßen (39. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung, BImSchV). Diese Werte werden eingehalten. Bis 2030 sind weitere Reduzierungen um 28 Prozent international vereinbart (Vergleichsjahr 2005, nach NEC-Richtlinie 2016).

Besonders wichtig ist immer noch der Verkehr. Hier ist die Flottenerneuerung durch **emissionsarme Fahrzeuge** eine der wirksamsten Maßnahmen. Daher werden seit Jahrzehnten die Grenzwerte für Kfz europaweit kontinuierlich verschärft. Derzeit gilt die Euro-6-Norm, die bei Pkw den Ausstoß von Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>) auf 60 Milligramm pro Kilometer (mg/km) für Ottomotoren und 80 mg/km für Dieselmotoren begrenzt. Seit September 2019 fordert der Euro-6d-Temp-Standard, dass für alle neuen Pkw die Emissionen nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch im Realbetrieb gemessen werden (real driving emission, RDE).



Abb. 6 u. 7:

Auch für schadstoffarme Fahrzeuge gilt: Jeder nicht gefahrene Kilometer entlastet die Umwelt. Besonders Zweitaktmotoren stoßen viele flüchtige organische Verbindungen (VOC) aus, die an heißen Sommertagen auf dem Land die Ozonbildung verstärken.



Kraftfahrt-Bundesamt

↓ Nachrüstung von  
NO<sub>x</sub>-Minderungssystemen

### WISSENSWERT



#### Schadstoffarme Motoren

Gerade beim Verkehr ist jeder einzelne Beitrag wertvoll, zum Beispiel der Kauf von emissionsarmen Fahrzeugen mit neuester Euro-Abgasnorm oder die Nachrüstung von älteren Fahrzeugen. Dies ist besonders bei Dieselmotoren wichtig, die sehr viel mehr Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) ausstoßen als Ottomotoren. Letztere müssen seit Ende der 1980er-Jahre mit geregelten Dreiwegekatalysatoren ausgerüstet sein, die neben NO<sub>x</sub> auch andere Schadstoffe in ungiftige Komponenten umwandeln. Mittlerweile ist auch für den Dieselmotor eine gute technische Lösung mit der selektiven katalytischen Reduktion (SCR) mittels Harnstoff (AdBlue®) vorhanden.

Bei den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) können einfache Maßnahmen mehr Umweltschutz bringen. Am einfachsten ist das bei der Auswahl von **umweltfreundlichen Farben und Lacken**. Genauso wichtig ist der Zeitpunkt: möglichst nicht an heißen Tagen malern oder lackieren. Auch der Verzicht auf allzu häufiges Rasenmähen im Sommer bei hohen Temperaturen hilft, hohe Ozonwerte zu mindern, da insbesondere Zweitakt-Rasenmäher viel flüchtige organische Verbindungen (VOC) ausstoßen.

### WISSENSWERT

Abb. 8 u. 9:

Wer sein Zuhause mit neuer Farbe oder einem neuen Boden aufpeppt, sollte möglichst lösemittelfreie Farben und Kleber verwenden: Einmal wegen der Gerüche, aber auch weil die Lösemittel bei sehr sonnigem und warmem Wetter zu hohen Ozonwerten beitragen.



Bundesverband  
Verbraucherinitiative e.V.  
↓ [www.label-online.de](http://www.label-online.de)

Die Bundesregierung  
↓ Siegelklarheit



#### Umweltfreundlich renovieren

Für **Farben, Lacke und Klebstoffe** wie auch für **Möbel und Einrichtungsgegenstände** gibt es Prüfzeichen für eine geringe Belastung mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Beispiele sind der Blaue Engel, das Europäische Umweltzeichen und natureplus. Auch bei der Wahl von **Spachtelmassen** und **Vorstrichen** sollte man generell lösemittelfreie Produkte wählen. Hier kann man sich zum Beispiel an der EMICODE-Kennzeichnung orientieren. Die Prüfsiegel unterscheiden sich zum Teil erheblich in ihren Kriterien. Ein genauer Vergleich lohnt sich.

## LITERATUR UND LINKS

BRUCKMANN P., GEIGER J., HARTMANN U., WURZLER S. (2003):

- ↓ Die Ozonepisode im Juli und August 2003. PDF, 15 S. Landesumweltamt NRW
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2019\*):
- ↓ Aktuelle Messwerte aus der Überwachung von Luftschadstoffen
- ↓ Informationen über Ozon
- ↓ Ozonbericht und Ozonprognose

CLAUDE H., FRICKE W., BEILKE S. (2001):

Wie entwickelt sich das bodennahe und das troposphärische Ozon? Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes. Ausgabe Nr. 82

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2018):

MAK- und BAT-Werte-Liste 2018. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 54, Wiley-VCH Verlag, Weinheim

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2018):

- ↓ Air quality in Europe – 2018 report. PDF, 88 S., Copenhagen, Denmark
- UMWELTBUNDESAMT

(2017): ↓ Daten zur Umwelt 2017. Indikatorenbericht. PDF, 152 S.

(2019): ↓ Luftqualität 2018 – Vorläufige Auswertung. PDF, 22 S.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995):

Ozonversuch Neckarsulm/Heilbronn, Band II. – Schlussbericht zu den wissenschaftlichen Auswertungen des Ozonversuchs, Stuttgart

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006):

- ↓ Air Quality Guidelines. Global Update 2005. PDF, 496 S., World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark

\* Zitate von Online-Angeboten vom 14.05.2020

## GESETZLICHE REGELUNGEN UND RICHTLINIEN

- ↓ Richtlinie 2008/50/EG\* des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, ABl. L 152/1 vom 11.06.2008

- ↓ Richtlinie 2010/75/EG\* des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung), ABl. L 334 vom 17.12.2010

- ↓ Richtlinie (EU) 2016/2284\* des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG

- ↓ Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen\* vom 2. August 2010 (39. BImSchV) (BGBl. I S. 1065), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Juli 2018 (BGBl. I S. 1222) geändert worden ist

- ↓ Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen\* bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen vom 21. August 2001 (31. BImSchV) (BGBl. I S. 2180), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist.

\* Zitate von Online-Angeboten vom 14.05.2020



Mehr UmweltWissen

- ↓ Ozonschicht und Ozonloch
- ↓ Umweltmedium Luft
- ↓ Alle Publikationen
- ↓ Wegweiser für mehr Umweltschutz im Alltag

Hinweis zur gedruckten Version: Diese Publikation finden Sie auch als PDF im Internet. Dort sind die mit gelbem Pfeil gekennzeichneten Literaturstellen verlinkt. Sie können also von dort aus auf sie zugreifen oder die jeweiligen Stichworte in eine Suchmaschine eingeben.

---

### Impressum:

#### Herausgeber:

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

#### Bearbeitung:

Ref. 12 / Dr. Katharina Stroh  
Ref. 24 / Dr.-Ing. Clemens Marb

#### Bildnachweis:

© LfU, F. Karlstetter: Titel, Abb. 5  
© LfU, S. Schwarzmann: Abb. 1  
© Adobe Stock/Friedberg: Abb. 2  
© Adobe Stock/Iotharnahler: Abb. 7  
© Fotolia.com – World travel images: Abb. 2  
© Fotolia.com – Christian Pedant: Abb. 3  
© Fotolia.com – Sergiy Serdyuk: Abb. 6  
© Fotolia.com – rockpix: Abb. 8  
© ccvision.de: Abb. 9

#### Stand:

Neufassung: 2004  
Überarbeitung: Mai 2020

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. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto: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.