

Erstmals alle Grenzwerte für Luftschadstoffe eingehalten - Ziel erreicht oder Ansporn für weitere Verbesserung der Luftqualität?

12

MAXIMILIAN STEINBACH, KATJA WUCHER, FLORIAN DITAS & DIANA ROSE

Schon 1976 beginnen die ersten Messungen zur Luftqualität in Raunheim

Seit den späten 1970er Jahren existiert das landesweite Luftmessnetz zur kontinuierlichen Überwachung und Beurteilung der Luftschadstoffe. Von anfangs einer Handvoll Messstellen ist das hessische Messnetz auf mittlerweile über 35 automatisierte Messstationen angewachsen. Gemessen wird die Luftqualität an Verkehrsschwerpunkten sowie im städtischen und ländlichen Hintergrund. Hinzu kommen zahlreiche weitere Messstellen, an denen mit verschiedenen Verfahren Proben von gas- oder partikelförmigen Luftschadstoffen gesammelt und später im Labor analysiert werden. Dazu gehören beispielsweise etwa 30 Messstellen, an denen die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO₂) im Passivsammlerverfahren erfasst wird. Außerdem werden zusätzlich temporäre, projektbezogene Messungen durchgeführt.

Hohe Schadstoffkonzentrationen beeinträchtigen die Gesundheit von Lebewesen in erheblichem

Maße und können auch zu einer Schädigung der Ökosysteme führen. Daher wurde 1974 das bis heute gültige Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) verabschiedet, das den Weg zu einer gesetzlich vorgeschriebenen, kontinuierlichen Überwachung der Luftqualität ebnete. In den 1980er Jahren folgten verschiedene Richtlinien auf europäischer Ebene, die erstmals EU- (ehem. EG-) weite Grenzwerte für bestimmte Luftschadstoffe vorschrieben. Die aktuell gültige EU-Richtlinie 2008/50/EG, die über die 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (39. BImSchV) in deutsches Recht umgesetzt ist, regelt die Immissionsgrenzwerte in der Luft beispielsweise für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Feinstaub und setzt Schwellen- und Zielwerte unter anderem für Ozon.

Saubere Luft ist ein Menschenrecht

Auf Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen zur gesundheitlichen Wirkung von Luftschadstoffen erarbeitet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) regelmäßig sogenannte Luftgüteleitlinien. Sie haben zum Ziel, die Luftqualität global und nachhaltig zu verbessern und negative gesundheitliche Auswirkungen durch Luftverschmutzung zu minimieren. Denn saubere Luft ist ein Menschenrecht.

Die WHO-Empfehlungen von 2005 dienen als Grundlage für die aktuell gültige EU-Richtlinie (2008/50/EG). Die letztendlich rechtlich bindenden, EU-weiten Grenzwerte resultieren jedoch aus einem politischen Abwägungsprozess, der auch wirtschaftliche Betrachtungen einbezieht. Aus diesem Grund weichen die gesetzlichen Grenzwerte in Teilen von den damaligen WHO-Empfehlungen ab.

Im Jahr 2021 hat die WHO ihre Luftgüteleitlinien erneuert (WHO, 2021). Sie sind nun noch deutlich anspruchsvoller als die heute gültigen Grenz- und Zielwerte (siehe Tab. 1). Zusätzlich zu den anspruchsvollen Richtwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden von der WHO deshalb für einige Schadstoffe Zwischenziele, so genannte *Interim Targets*, definiert. Diese wurden erarbeitet, um Länder bei der Planung zur schrittweisen Reduzierung der Schadstoffkonzentrationen zu unterstützen. Auch die neuen Richtwerte der WHO sind nicht rechtsverbindlich, sie finden jedoch Berücksichtigung in der bevorstehenden Überarbeitung der europäischen Luftqualitätsrichtlinie.

Tab. 1: Grenzwerte nach 39. BImSchV und Richtwerte der WHO für Jahresmittelwerte für die in diesem Bericht thematisierten Komponenten PM₁₀ und NO₂

Komponente	39. BImSchV Grenzwert (in µg/m ³)	WHO Richtwert (in µg/m ³)
Feinstaub PM ₁₀	40	15
Stickstoffdioxid (NO ₂)	40	10

Die europäischen Vorgaben haben dazu geführt, dass sich die Luftqualität in Hessen und bundesweit in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verbessert hat.

Die Entwicklung der Schwefeldioxidkonzentration ist eine Erfolgsgeschichte!

So sind die Schadstoffkonzentrationen von beispielsweise Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub stark rückläufig. In Abbildung 1 ist die zeitliche Entwicklung dieser drei Komponenten exemplarisch für die Messstellen in Raunheim und an der Ringkirche in Wiesbaden dargestellt. Das besondere an diesen beiden Stationen ist, dass dort bereits seit einigen Jahrzehnten Messungen erhoben und somit langfristige Trends ersichtlich werden. Solche langen Zeitreihen sind nicht selbstverständlich und besonders wertvoll für die Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität.

Blickt man auf die Entwicklung der Schwefeldioxidkonzentrationen seit den späten 1970er Jahren, so ist der enorme Rückgang die Erfolgsgeschichte im Immissionsschutz schlechthin. Ursache für die hohen SO₂-Konzentrationen der früheren Jahre war der hohe Schwefelgehalt in fossilen Brennstoffen, wie beispielsweise Kohle und Benzin. Einmal in der Luft reagiert das SO₂ zu schwefeliger Säure und Schwefelsäure und führte zum sauren Regen, der in erheblichem Ausmaß Natur und Umwelt in Gefahr brachte sowie Gebäude schädigte. Damals war das SO₂ eines der größten Sorgenkinder in der Luftreinhaltung. In den späten 1980er und -90er Jahren sank die SO₂-Konzentration aufgrund von konsequenter Entschwefelung von fossilen Treibstoffen sowie der

technischen Nachrüstung zur Abgasreinigung in Großfeuerungs- und Industrieanlagen. Heutzutage bewegen sich die Messwerte zeitweise sogar im Bereich der Nachweisgrenze der Messgeräte.

Auch beim Feinstaub und den Stickoxiden zeigt der Trend eine durchaus positive Entwicklung. Sowohl in Raunheim als auch in Wiesbaden an der Ringkirche wird seit dem Jahr 2000 kontinuierlich Feinstaub der Fraktion PM₁₀ (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm) gemessen. Davor wurde lediglich die Masse des Gesamtstaubs in der Luft bestimmt. Die Jahresmittelwerte des Feinstaubes sind in den letzten Jahren und Jahrzehnten deutlich zurückgegangen. Bereits seit 2004 wird an allen Messstellen in Hessen der Grenzwert von 40 µg/m³ für das Jahresmittel eingehalten. Die zulässige Anzahl der Überschreitungen der Tagesmittelwerte von 50 µg/m³ ist seit 2012 nicht mehr überschritten worden. Diese Entwicklung ist unter anderem auf den Einsatz verbesserter Abgastechnik in Fahrzeugen und Industrieanlagen zurückzuführen. Dadurch wird einerseits weniger Feinstaub direkt emittiert, andererseits werden auch weniger Vorläuferstoffe ausgestoßen, die die sekundäre Bildung von Feinstaub begünstigen.

Die Entwicklung der Stickstoffdioxidkonzentration hat in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Zur Einführung des Jahresgrenzwertes

von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2010, wurde dieser an vielen verkehrsbezogenen Messstellen, wie beispielsweise auch an der Ringkirche in Wiesbaden sehr deutlich überschritten. Hauptverursacher der hohen Stickoxidkonzentrationen ist der Kfz-Verkehr, insbesondere die Dieselfahrzeuge. In den Folgejahren änderte sich an dieser Situation wenig, sodass umfangreiche Luftreinhaltepläne für viele hessische Städte notwendig wurden. Teilweise wurde die Einhaltung der Grenzwerte erst mit der Einführung von streckenbezogenen Fahrverboten für Dieselfahrzeuge erreicht.

Für Stickstoffdioxid wurde erstmals 2021 hessenweit der Grenzwert eingehalten

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentration als Mittelwert über alle verkehrsbezogenen hessischen Messstellen. Zusätzlich wird die Bandbreite (Minimum und Maximum) der Jahresmittelwerte an den verkehrsbezogenen Messstellen als Fläche dargestellt. Erkennbar ist ab etwa 2005 ein leichter und dann ein stärker werdender abnehmender Trend. Die Maximalwerte blieben jedoch deutlich über dem Grenzwert für das Jahresmittel. Die Entwicklung der NO_2 -Konzentration an der Messstelle Darmstadt Hugelstrae I ist hierbei besonders hervorzuheben. An der Hugelstrae wurden umfangreiche Manahmen zur Luftreinhaltung umgesetzt, die letztlich eine sehr deutliche Abnahme der Stickstoffdioxidkonzentration zur Folge hatten.

Aufgrund der sukzessiven Erneuerung der Fahrzeugflotte und dem damit verbundenen Einsatz emissionsarmerer Fahrzeuge, sowie abnehmender Ver-

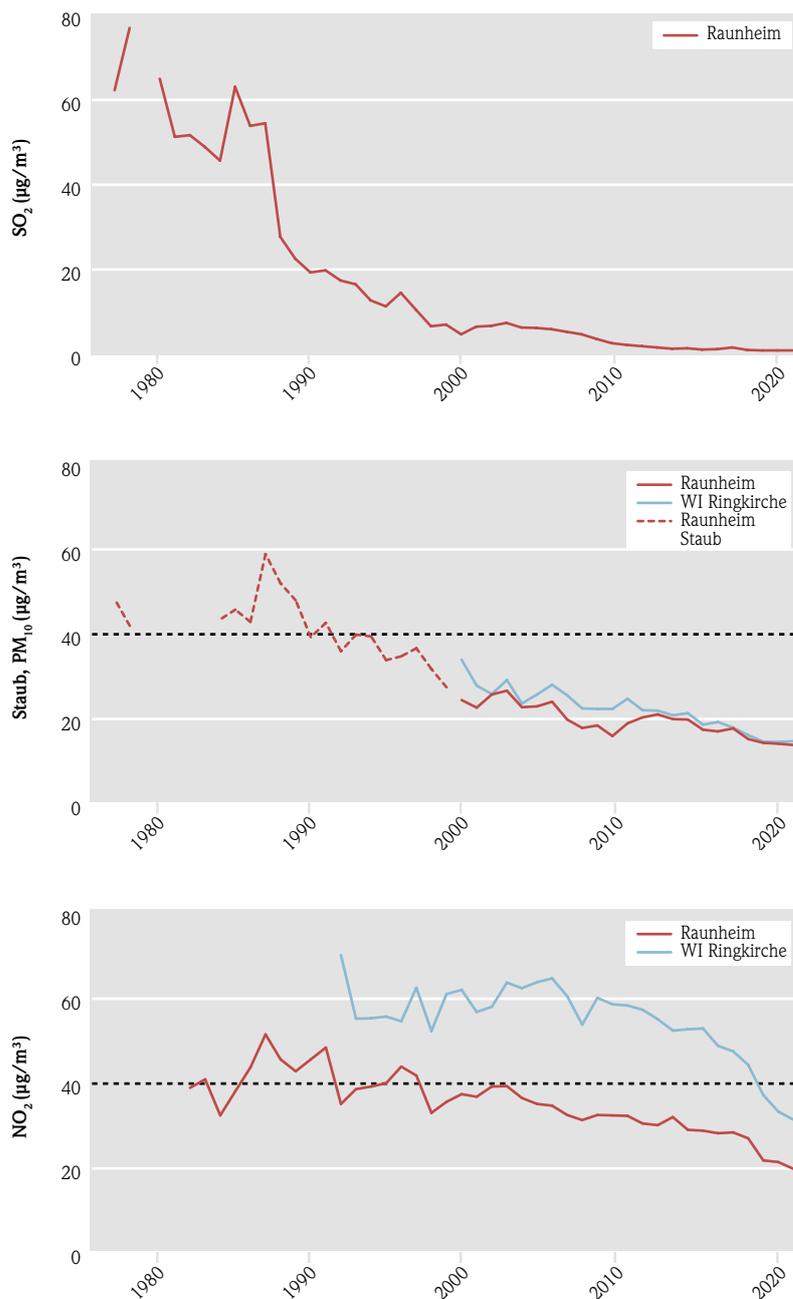


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Jahresmittelwerte von Schwefeldioxid (SO_2), Feinstaub der Fraktion PM_{10} und Stickstoffdioxid (NO_2). Exemplarisch werden Daten der Luftmessstationen in Raunheim und in Wiesbaden an der Ringkirche gezeigt, da es sich bei diesen Stationen um die längsten Zeitreihen hessischer Messstationen im städtischen Hintergrund bzw. an Verkehrsschwerpunkten handelt. Bezüglich Feinstaub ist eine Besonderheit zu beachten: Bei den Messungen vor 2000 konnte nicht zwischen den unterschiedlichen Fraktionen des Feinstaubes unterschieden werden, daher wird vor 2000 der zeitliche Verlauf des Gesamtstaubs dargestellt. Der jeweilige aktuell gültige Grenzwert des Jahresmittelwerts für NO_2 und PM_{10} wird gestrichelt dargestellt.

kehrszahlen infolge der Covid-19-Pandemie, aber nicht zuletzt auch durch die Maßnahmen zur Luftreinhaltung im Rahmen von Luftreinhalteplänen, konnte schließlich 2021 erstmals an allen hessischen Stationen der Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel eingehalten werden.

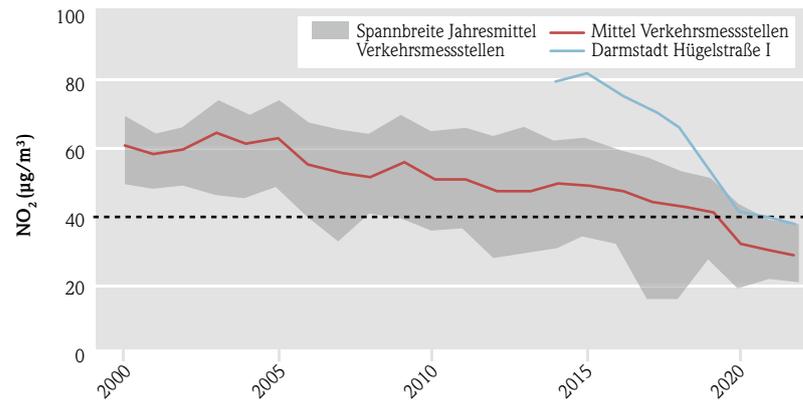


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentration an verkehrsbezogenen Messstellen als Mittelwert inklusive aller Messstellen (rot) und mit Angabe der minimalen und maximalen Jahresmittelwerte (ohne die Messstelle Darmstadt Hängelstraße I, grauer Bereich). Zusätzlich dazu werden die Jahresmittelwerte der Messstelle Darmstadt Hängelstraße I (blau) separat gezeigt, welche 2014 begannen. Der aktuelle, seit 2010 gültige Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Jahresmittelwert wird schwarz dargestellt und wurde 2021 erstmals an allen Messstellen eingehalten. Durch den zunehmenden Einsatz von Passivsammlern, ist die Anzahl der in dieser Darstellung einbezogenen Messstellen pro Jahr unterschiedlich und nimmt tendenziell zu.

Das Thema Ozon ist in den vergangenen Jahren etwas aus dem Fokus der Öffentlichkeit geraten

Beim Ozon, dem 3-atomigen Sauerstoffmolekül, wird generell unterschieden zwischen troposphärischem Ozon, also Ozon in den bodennahen Schichten und stratosphärischem Ozon in höheren Atmosphärenschichten. Während stratosphärisches Ozon vor der gefährlichen UV-Strahlung schützt, ist bodennahes Ozon ein Schadgas und greift die Atemwege und Schleimhäute von Lebewesen an. Zudem schadet es der Vegetation. Es führt zu einer Verminderung des Pflanzenwachstums und damit zu Ertragseinbußen bei Nutzpflanzen wie Mais, Getreide und Bohnen.

Besonders in den 1980er und 1990er Jahren hatten die häufig als „Sommersmog“ bezeichneten, hohen Ozonkonzentrationen solch gesellschaftliche Bedeutung, dass 1993 in Hessen sogar eine spezielle Ozonverordnung verabschiedet wurde. Ziel dieser Verordnung war es, die Vorläuferstoffe aus dem Straßenverkehr, insbesondere Stickoxide, zu senken, um so eine Reduktion der Ozonkonzentrationen zu erreichen.

Ozon wird nicht direkt emittiert, sondern infolge chemischer Umwandlungsprozesse vor allem in den

heißen Sommermonaten in der Atmosphäre gebildet. Dafür ist intensive Sonneneinstrahlung notwendig, welche die nötige Energie zur Abspaltung von Sauerstoffatomen aus den Vorläuferstoffen bereitstellt. Die dabei freiwerdenden, angeregten Sauerstoffatome bilden dann zusammen mit Sauerstoffmolekülen Ozon. Zu den Vorläuferstoffen von Ozon zählen neben Stickstoffdioxid aus dem Straßenverkehr und Feuerungsanlagen vor allem flüchtige organische Verbindungen (VOCs) aus anthropogenen und biogenen Quellen. Ozon wird hauptsächlich durch das Vorhandensein von Stickstoffmonoxid (NO) wieder abgebaut. Daher ist die Ozonkonzentration an Verkehrsschwerpunkten aufgrund der hohen NO-Emissionen geringer als im städtischen und ländlichen Hintergrund. Aber auch Pflanzen und Böden tragen in geringem Maße zum Abbau von Ozon bei.

Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Spitzenkonzentrationen, also Stunden mit Ozonwerten über der Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Entwicklung der Jahresmittelkonzentrationen exemplarisch an der Station Raunheim. In den vergangenen Jahren hat die Anzahl der Spitzenkonzentrationen, von zwi-

schenjährlichen Schwankungen aufgrund der vorherrschenden meteorologischen Bedingungen abgesehen, stetig abgenommen. Dem entgegen hat jedoch die mittlere Ozonbelastung seit den 1980er Jahren stetig zugenommen. Um diesen Zusammenhang zu erklären, muss wieder der Bildungs- und Abbauprozess von Ozon etwas näher betrachtet werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Vorläuferstoffe von Ozon. Die Emissionen von Stickoxiden und anthropogenen VOCs sind seit den 1990er Jahren deutlich zurückgegangen, was wiederum zur Verringerung der Ozon-Spitzenkonzentrationen führte (UBA, 2022). Dies war jedoch nicht die einzige Folge: Die geringere Anzahl vorhandener Reaktionspartner führte außerdem auch zu einer Verringerung des Ozonabbaus durch NO. Dadurch können vor allem mittelhohe Konzentrationen über einen längeren Zeitraum auftreten

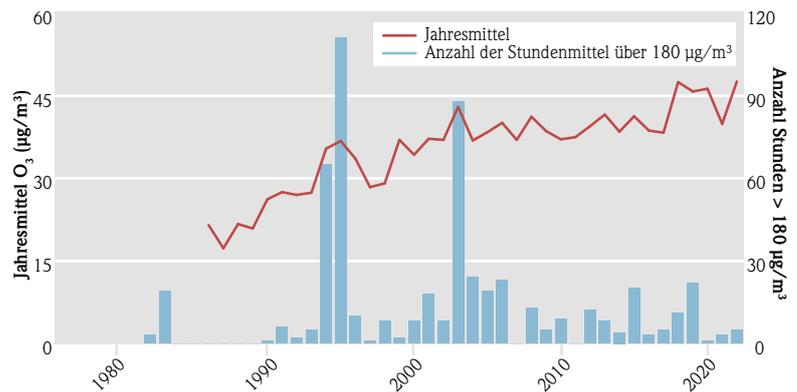


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration (durchgezogene Linie, linke Y-Achse) und die jährliche Anzahl der Überschreitungen der Informationsschwelle (1-h-Mittelwert größer als $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) als Balken (rechte Y-Achse) an der Luftmessstation in Raunheim

und so zu höheren Jahresmittelwerten beitragen. Die Jahresmittelwerte des Ozons unterliegen jedoch bisher keiner gesundheitsrelevanten Einordnung und sind daher nicht mit Grenz- oder Zielwerten behaftet.

Die Grenzwerte sind eingehalten, doch die neuen Luftqualitätsleitlinien der WHO werden größtenteils nicht erfüllt – eine Herausforderung

Die Luftschadstoffkonzentrationen entwickeln sich seit Beginn der Messungen in Hessen positiv. Besonders hervorzuheben ist dabei die enorme Verringerung der SO_2 -Konzentrationen, wodurch viele Messungen dieses Schadstoffs in der jüngsten Vergangenheit sogar eingestellt werden konnten. Auch die enormen Umweltschäden durch den sauren Regen gehören der Vergangenheit an und die Empfehlungen der WHO für diesen Luftschadstoff können problemlos eingehalten werden.

Aber auch die Konzentrationen der Feinstaubfraktion PM_{10} haben in den vergangenen Jahren deutlich abgenommen. Der aktuelle, rechtlich bindende Grenzwert wird zwar an allen Messstellen in Hessen eingehalten. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen zur Wirkung von Feinstaub wird jedoch klar, dass auch unterhalb der aktuell gültigen Grenzwerte gesundheitliche Auswirkungen zu erwarten sind. In den aktuellen Luftgüteleitlinien der WHO wird daher ein Richtwert für den Jahresmittelwert von $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ empfohlen, welcher aktuell an rund einem Drittel

der hessischen Messstellen, an denen Feinstaub PM_{10} erfasst wird, überschritten wird.

Zielgerichtete Maßnahmen der Städte und Gemeinden zur Verringerung des Verkehrsaufkommens, Luftreinhaltepläne sowie emissionsärmere Fahrzeuge führten ebenfalls dazu, dass die NO_2 -Konzentrationen an den Verkehrsschwerpunkten in Hessen teilweise sehr eindrucksvoll reduziert wurden. Diese Abnahme wurde in den Jahren 2020 und 2021 durch die verringerte Mobilität infolge der Covid-19-Pandemie nochmals verstärkt. Während der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel seit 2021 an allen hessischen Messstellen für NO_2 eingehalten wurde, stellt der aktuelle Richtwert zum Schutz der Gesundheit der WHO von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das NO_2 -Jahresmittel eine große Herausforderung dar. So lagen die Jahresmittelwerte 2021 bei 87 Prozent der hessischen Messstellen oberhalb dieses Richtwertes. Es ist deshalb unerlässlich, Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität insbesondere in Städten konsequent fortzuführen.

Die gesetzlichen Zielwerte für den Luftschadstoff Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit lassen sich nicht unmittelbar den neuen Empfehlungen der WHO gegenüberstellen. Teil der neuen Luftgüteleitlinien ist ein saisonaler Richtwert für die höchsten Ozonbelastungen von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert der täglichen höchsten 8-Stundenwerte für die Ozon-Saison). Dieser WHO-Richtwert wird aktuell an allen hessischen Messstationen, die Ozon erfassen, überschritten. Aufgrund des komplexen Zusammenspiels der Vorläuferstoffe bei der Bildung und dem Abbau von Ozon ist eine weitere Verringerung aller anthropogen emittierten Vorläuferstoffe erstrebenswert.

Die aktuellen Empfehlungen zur Luftqualität und dem Gesundheitsschutz der WHO stellen eine wesentliche Grundlage für die aktuelle Überarbeitung der europäischen Luftqualitätsrichtlinie dar. Deshalb ist davon auszugehen, dass auch die gesetzlich vorgeschriebenen Grenz- und Zielwerte, mit dem Ziel der Verringerung der umweltbedingten Krankheitslast, verschärft werden. Dadurch ergeben sich neue Herausforderungen für die Luftreinhaltung in Hessen.

Zudem rückt der Fokus auch auf weitere, bisher noch nicht regulierte Schadstoffe wie ultrafeine Partikel (UFP) oder auch Ruß aus privaten Holzfeuerungsanlagen. Die Erfolge in der Luftreinhaltung der letzten Jahrzehnte sollten daher dazu motivieren, die Luftqualität ambitioniert weiter zu verbessern.

Literatur

WHO (2021): WHO global air quality guidelines: particulate matter ($\text{PM}_{2,5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>; Stand: 28.09.2022

UBA (2022): Ozon-Belastung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung#uberschreitung-von-schwellenwerten>; Stand: 26.09.2022

Gesetzliche Grundlagen

BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/index.html>; Stand: 28.09.2022

EU-Richtlinie 2008/50/EG: Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>; Stand: 28.09.2022

39. BImSchV: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/; Stand: 28.09.2022