

GeKo  
**Aktuell**

Matthias Falke und Karl-Heinz Otto

# Luftbelastung in Westfalen

Feinstaub, Stickoxide und Ozon



## Inhalt

1. Einleitung .....	3
2. Luft, Luftbelastung und Parameter der Luftreinhaltung .....	3
2.1 Feinstaub PM <sub>10</sub> und PM <sub>2,5</sub> .....	4
2.2 Stickoxide .....	5
2.3 Ozon .....	6
3. Luftreinhalteplanung in NRW und Westfalen .....	7
4. Immissionsentwicklung für ausgewählte Lufthygieneparameter (2006–2017) .....	9
4.1 Feinstaub PM <sub>10</sub> und PM <sub>2,5</sub> .....	9
4.2 Stickoxide .....	11
4.3 Ozon .....	12
5. Emissions-Analyse .....	13
6. Fazit .....	16
7. Literaturverzeichnis .....	18

Foto auf dem Titelbild: Qualmender Auspuff (AdobeStock\_194402897)



Für die Menschen.  
Für Westfalen-Lippe.

Herausgeber: Geographische Kommission für Westfalen  
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)  
Dr. Rudolf Grothues, Prof. Dr. Karl-Heinz Otto  
Layout: Dr. Rudolf Grothues  
Druck: Druck & Verlag Kettler GmbH, Bönen

ISSN 1869-4861  
Schutzgebühr: 2,50 Euro

Nachdruck, Funksendung, Entnahme von Abbildungen, Wiedergabe auf fotomechanischem Weg oder Speicherung in DV-Anlagen sind bei ausdrücklicher Quellenangabe erlaubt. Belegexemplar/Link erbeten: geko@lwl.org oder per Post.

**GeKo Aktuell** ist das offizielle Mitteilungsorgan der Geographischen Kommission für Westfalen. In lockerer Folge werden aktuelle, von der Kommission oder ihren Mitgliedern durchgeführte bzw. angeregte Forschungen und deren Ergebnisse sowie die neuesten Veröffentlichungen der Kommission in Kurzbeschreibungen vorgestellt.

**GeKo Aktuell** kann unter folgender Adresse kostenlos in gedruckter Form bestellt und abonniert werden:

Geographische Kommission für Westfalen  
Heisenbergstraße 2, 48149 Münster  
Tel.: 0251/8339-222, Fax: 0251/8339-221  
E-Mail: geko@lwl.org

Unter [www.geographische-kommission.lwl.org](http://www.geographische-kommission.lwl.org) stehen PDF-Dateien aller bisherigen **GeKo Aktuell**-Ausgaben zum kostenfreien Download zur Verfügung.

## Luftbelastung in Westfalen – Feinstaub, Stickoxide und Ozon

### 1. Einleitung

Im Mai 2018 verklagte die EU-Kommission sechs ihrer Mitgliedsstaaten wegen der anhaltenden Luftverschmutzung in ihren Städten. Waren es im Falle Ungarns, Italiens und Rumäniens die anhaltend hohen Feinstaubwerte, verstieß Deutschland – zusammen mit Frankreich und dem Vereinigten Königreich – gegen den Grenzwert für Stickoxide. Im Fokus stand in den vergangenen Jahren insbesondere die Industriestadt Stuttgart, wo die deutschlandweit häufigsten und höchsten Grenzwertüberschreitungen für Feinstaub und Stickoxid Jahr um Jahr negative Schlagzeilen mit sich brachten. Auf Bundesebene gipfelte die politische Debatte zuvor im sogenannten Diesel-Urteil, in dem das Bundesverwaltungsgericht Verkehrsverbote für Diesel-Kraftfahrzeuge in deutschen Kommunen für rechtlich zulässig erklärte. Hamburg machte als erste deutsche Großstadt vom Dieselfahrverbot Gebrauch und sperrte zwei Hauptverkehrsstraßen für ältere Dieselmodelle. Kritiker warfen der Hansestadt allerdings vor, dass diese reine Ergebniskosmetik betreibe, da sich ausgerechnet an den betroffenen Straßenzügen zwei Messstationen für Stickoxide befinden (BREITINGER 2018).

Doch nur ein knappes Jahr später stellte Dieter Köhler, ein pensionierter Lungenarzt, mit einem von rund einhundert Kollegen unterzeichneten Papier die Luftreinhaltepolitik Deutschlands binnen einer Woche auf den Kopf. Dass sich lediglich 3 % der Lungenfachärzte für die Position Köhlers aussprachen und dessen Aussagen zum Teil wissenschaftlich nicht haltbar waren, ging im gewaltigen Medienecho unter. In der von drohenden SUV- und Dieselfahrverboten verunsicherten Bevölkerung fanden die Aussagen Köhlers schnell Gehör, zumal zahlreiche überrumpelte Wissenschaftler und Forschungsinstitutionen dessen Aussagen erst in den darauffolgenden Wochen fundiert widerlegen konnten (SCHNABEL 2019). Ein zentraler Aspekt in Köhlers Argumentation war beispielsweise der Vergleich der Atemluft in Innenstädten mit dem Schadstoffgehalt von Zigarettenrauch. Den Vergleich von kurzfristigen Spitzenbelastungen mit einer permanenten Dauerbelastung halten andere Wissenschaftler für unseriös. Schon aufgrund des unterschiedlichen zeitlichen Zusammenhangs ist ein solcher Vergleich nicht sinnvoll. Zudem ist Köhler bei seinem Vergleich von falschen Grundannahmen ausgegangen und hat dazu noch eklatante Rechenfehler begangen (KREUZFELDT 2019).

Doch wie gefährlich sind Feinstaub, Stickoxide und Ozon eigentlich und wie steht es um Westfalen? Die letzte

umfassende Trendanalyse für Westfalen von BÜNS et al. (2007) liegt über zehn Jahre zurück. Wie hat sich seitdem die Luftqualität in Westfalen entwickelt? Wie äußert sich diese Entwicklung räumlich und in Bezug auf konkrete Luftschadstoffe, und welche Trends sind in den kommenden Jahren zu erwarten? Antworten darauf liefert das vorliegende **GeKo Aktuell** der Geographischen Kommission für Westfalen. Dazu soll kurz auf die einschlägigen Luftschadstoffe im Zusammenhang mit der Luftqualität näher eingegangen werden. Hier sollen Zusammenhänge zwischen Schadstoffquellen und ihrer räumlichen Wirkung verdeutlicht werden. Zudem werden die Risiken von Luftschadstoffen für die menschliche Gesundheit erläutert. Anschließend erfolgt eine Analyse der Immissions- und Emissionswerte in Westfalen, die schließlich in einem Fazit zusammengeführt und kritisch bewertet werden.

### 2. Luft, Luftbelastung und Parameter der Luftreinhaltepolitik

Mit Luft wird das die Erde umgebende Gasgemisch in der Atmosphäre bezeichnet. Trockene Luft besteht hauptsächlich aus Stickstoff (78,08 Vol.-%), Sauerstoff (20,95 Vol.-%) und Argon (0,93 Vol.-%). Die heutige Zusammensetzung der trockenen Luft ist das Resultat des natürlichen Stickstoff- und Sauerstoffkreislaufes der Erde und seit den letzten 350 Mio. Jahren relativ konstant. Der verbleibende Anteil wird in der Kategorie der Spurengase zusammengefasst. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) repräsentiert mit rund 0,04 Vol.-% den größten Anteil daran, gefolgt von den Edelgasen Neon, Helium, Krypton und Methan (insgesamt rund 0,003 Vol.-%).

Die natürliche Zusammensetzung der Luft kann räumlich variieren. Beeinflussende Faktoren sind zum einen physikalische Einflussgrößen (Höhe des Standortes, Abstand zur Erdoberfläche, Temperatur, Luftzirkulation, Luftfeuchte), zum anderen natürliche und anthropogene Emissionsquellen, sogenannte Emittenten. Unter Emissionen versteht man im engeren Sinne die Freisetzung von Stoffen in die Umwelt. Natürliche Emittenten sind Flora (z. B. Pollen, Sporen und flüchtige organische Verbindungen) und Fauna (z. B. Gase), Vulkane, Moore, Sümpfe, Wald- und Steppenbrände sowie Sandstürme. Zu den wichtigsten anthropogenen Emittenten gehören der Verkehr, die Industrie, die Haushalte sowie die Versorgungsinfrastruktur. Die häufigsten damit verbundenen Schadgase umfassen Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), flüchtige Kohlenwasserstoffe sowie Staubpartikel.

Mit einer steigenden Zahl an Emissionen können „Veränderungen des natürlichen Zustandes und der natürlichen Zusammensetzung der Atmosphäre“ einhergehen, die VOGT (2002, S. 344) als Luftbelastung definiert. Bei Schadstoffbelastungen der Luft an einem konkreten Ort spricht man von sogenannten Luftimmissionen. In NRW werden Immissionen mittels eines Luftmessnetzes über das ganze Jahr hinweg erfasst. Die Messung von Immissionen erfolgt punkthaft. Die Messergebnisse einzelner Stationen können anschließend miteinander verglichen werden. Modellierungen wie im Falle der „Ausbreitungsrechnung zur zukünftigen Entwicklung der Luftqualität in Nordrhein-Westfalen: Bewertung und Maßnahmenplanung zur Luftreinhaltung (AZUR-Modell)“ und „European air pollution dispersion-inverse (EURA-Modell)“ ermöglichen zudem eine flächendeckende Simulation von Immissionen in Planquadraten von bis zu 1 km<sup>2</sup> (BÜNS et al. 2007, S. 11–12).

Im vorliegenden Beitrag stehen sowohl Emissionen als auch Immissionen für die ausgewählten Luftschadstoffe Feinstaub, Stickoxide und Ozon im Vordergrund der Betrachtung. Hier soll vertiefend auf die gesundheitsschädliche Wirkung dieser Luftschadstoffe, korrespondierende Maßnahmen zur Luftreinhaltung sowie die Entwicklung der Luftbelastung eingegangen werden.

## 2.1 Feinstaub PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>

Als Feinstaub, Schwebstaub oder englisch ‚*particulate matter*‘ (PM) bezeichnet man alle Teilchen in der Luft,

die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Feinstaub umfasst ein heterogenes Gemisch fester und flüssiger Schwebstoffe (Aerosole) in der Atmosphäre, die sich weiter nach ihrer chemischen Zusammensetzung (organisch, anorganisch), ihren physikalischen (Farbe, Dichte) und physiologischen Eigenschaften (Toxizität) aber auch ihrer Entstehung (primär, sekundär) und ihrer Verweildauer in der Luft differenzieren lassen. Natürliche Feinstaubquellen umfassen Staubeinträge durch Bodenerosion, Meersalz, Waldbrände, Vulkanausbrüche sowie Pollen und Sporen. Hinzu kommen insbesondere in urbanen Ballungsräumen Feinstaubquellen anthropogenen Ursprungs: Emissionen aus Verkehr, Industrie- und Kraftwerksanlagen sowie Öfen, Herdfeuern und Heizungen in Privathaushalten.

Die winzigen Partikel sind in der Regel mit dem bloßen Auge nicht wahrnehmbar. Mit steigender Anreicherung in der Luft ist Feinstaub aus der Distanz betrachtet jedoch in Form einer „Dunstglocke“ zu erkennen. Je nach Größe werden Schwebstoffe in sogenannte Fraktionen unterteilt:

- PM<sub>10</sub> umfasst alle Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm (= Mikrometer). 10 µm entsprechen einem 10 Millionstel Meter. Der Größenbereich von 2,5 bis 10 µm wird als Grobfraktion bezeichnet.
- PM<sub>2,5</sub> umfasst die feineren Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als 2,5 µm beträgt. Diese fasst man als Feinfraktion zusammen.
- Die kleinsten Teilchen, die einen aerodynamischen Durchmesser von weniger als 0,1 µm besitzen, gehören zu den ultrafeinen Partikeln (UFP).

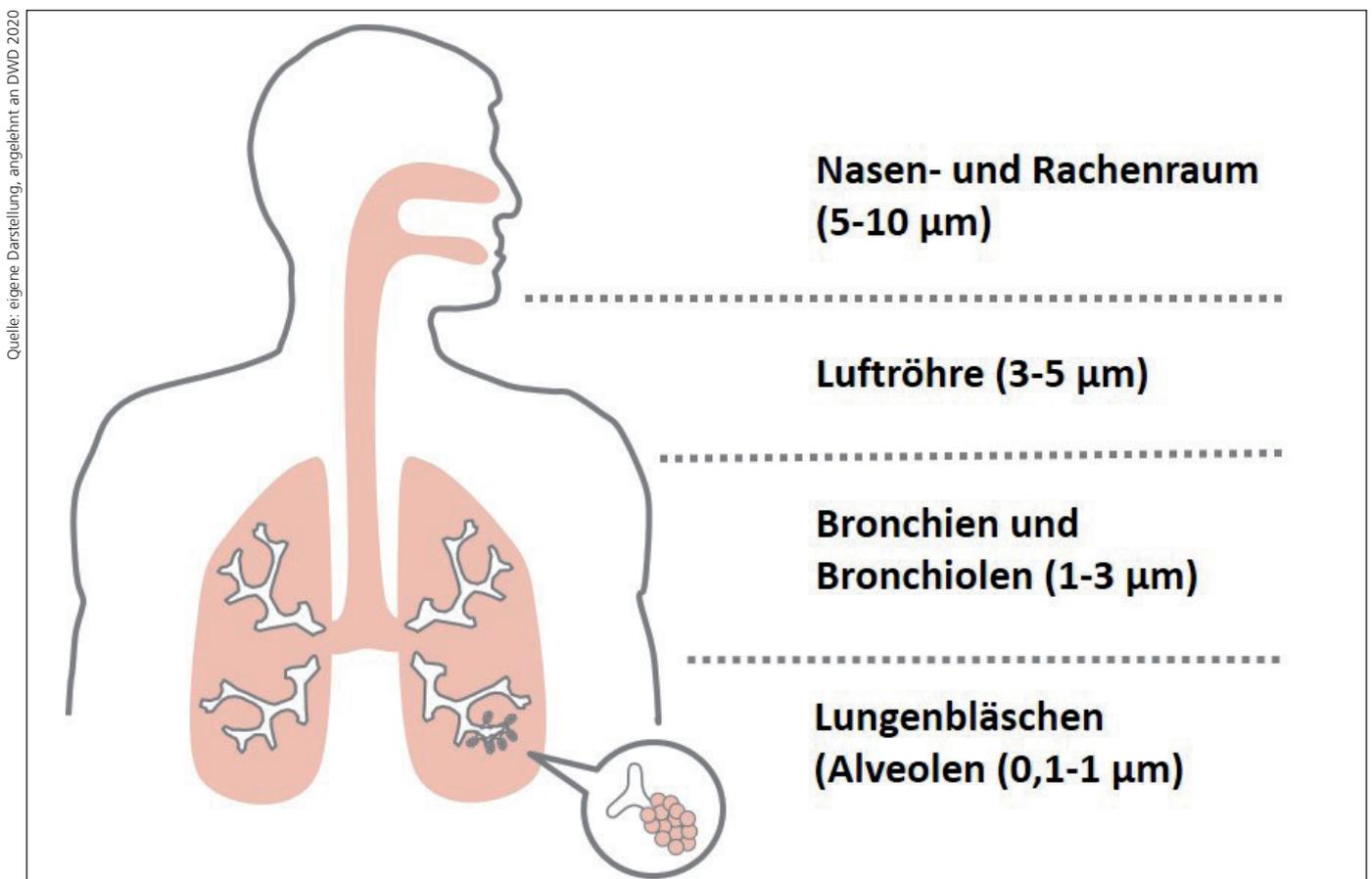


Abb.1: Feinstaubablagerung in den menschlichen Atemwegen nach ihrem Partikeldurchmesser

Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an DWD 2020

Die UFP sind also eine Teilmenge von  $PM_{2,5}$ , diese sind eine Teilmenge von  $PM_{10}$ , welche wiederum eine Teilmenge des gesamten Feinstaubes (total suspended particulates, TSP) bis 30  $\mu m$  sind. Die vorgestellte Größenverteilung ist dem Abscheideverhalten von Feinstaub in den menschlichen Atemwegen nachempfunden (vgl. Abb. 1). Ein Großteil des Feinstaubes wird demnach bereits im Nasen- und Rachenraum abgelagert und wieder ausgeschieden.  $PM_{10}$  umfasst der Definition nach Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen

Gesundheit in Form von Herz- und Gefäßkrankheiten bis hin zu Lungenkrebs (OBERDÖRSTER 2001; DELFINO et al. 2005; LAHL/STEVEN 2005; NEUBERGER 2007; WHO 2013; DGP 2018).

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten daher – entsprechend der europäischen Richtlinie 2008/50/EG und der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) – deutschlandweit konkrete Grenzwerte für  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ . Der maximal zulässige Tagesgrenzwert für  $PM_{10}$  beträgt  $50 \mu g/m^3$  Luft und darf im Jahr maximal 35 Mal überschritten werden, im Jahresmittel sind maximal  $40 \mu g/m^3$  erlaubt. Für  $PM_{2,5}$  liegt der verbindliche Grenzwert seit dem 1. Januar 2020 bei  $20 \mu g/m^3$ . Allerdings verfehlen die europäischen Grenzwerte damit die Richtwerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO) deutlich. Diese sieht für  $PM_{10}$  ein Jahresmittel von  $20 \mu g/m^3$  und für  $PM_{2,5}$  ein Jahresmittel von  $10 \mu g/m^3$  vor.



Foto: AdobeStock\_194402897

**Abb. 2: Kraftfahrzeug als Feinstaubquelle**

aerodynamischen Durchmesser von 10  $\mu m$  einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

Das bedeutet konkret, dass rund die Hälfte der  $PM_{10}$ -Partikel im Nasen- und Rachenraum abgefangen und ausgeschieden wird, während die übrige Hälfte (als thorakale Fraktion bezeichnet) bis tief in die Lunge eindringen kann. Analog dazu umfasst  $PM_{2,5}$  Staubpartikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5  $\mu m$  einen Abscheidegrad von 50 % aufweist. Während die eine Hälfte dieser Feinstaubkategorie in den Bronchien abgefangen wird, erreicht die andere Hälfte (als alveolengängige Fraktion bezeichnet) die Lungenbläschen. Die ultrafeinen Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von  $< 0,1 \mu m$  können tief in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen (BÜNS et al. 2007, S. 4–5).

Die damit einhergehenden Gesundheitsrisiken reichen, je nach Intensität und Dauer der Feinstaubbelastung, von einfachen Reizungen der oberen Atemwege bis hin zu akuten und chronischen Atemwegserkrankungen sowie Störungen des Herz-Kreislaufsystems. Dabei bleiben die potenzielle Toxizität und Karzinogenität enthaltener Feinstaubpartikel zunächst unberücksichtigt. Insbesondere an den Oberflächen kleiner Partikel können sich jedoch Schwermetalle oder krebserzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) anheften, die so bis tief in die menschlichen Atemwege gelangen. Zahlreiche Studien unterstreichen zudem die gesundheitlichen Risiken und Folgewirkungen von UFP für die menschliche

## 2.2 Stickoxide

Stickoxide ( $NO_x$ ) sind eine Sammelbezeichnung für gasförmige Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen. Als wichtigste Verbindungen sind Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) und Stickstoffmonoxid (NO) zu nennen, zwei chemisch sehr reaktive Reizgase, die tagsüber in der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlung wieder aufgespalten werden können. In der Nacht ist Stickstoffdioxid aufgrund geringerer Strahlung recht stabil und kann mit dem Wind über weite Strecken transportiert werden. Die durchschnittliche Verweildauer von Stickstoffdioxid in der Luft liegt bei zwei bis fünf Tagen. Im weiteren Verlauf können sich Nitratsalze ( $NO_3^-$ ) und Salpetersäure ( $HNO_3$ ) bilden,

die anschließend ausgewaschen werden. Die Folgen sind saurer Regen, der dem Pflanzenwachstum schadet, sowie die Eutrophierung der Gewässer.

» *Nur ein geringer Teil der Stickoxide in der Luft ist natürlichen Ursprungs.*

Nur ein geringer Teil der Stickoxide in der Luft ist natürlichen Ursprungs (Blitze, Waldbrände). Vielmehr sind erhöhte Stickoxidwerte hauptsächlich das Resultat anthropogener bedingter Verbrennungsprozesse (Motoren, Industriefeuerungsanlagen sowie Haus- und Kleinfeuerungsanlagen in Privathaushalten) und gelten somit als guter Indikator für die anthropogene Luftbelastung. Für die zurückliegenden 25 Jahre ist in Deutschland insgesamt ein Rückgang der Stickstoffdioxid-Belastung festzuhalten (vgl. Abb. 3): Zwischen 1990 und 2017 sank diese von rund 2,9 auf unter 1,2 Mio. Tonnen. Insbesondere im Bereich Verkehr konnten im angesprochenen Zeitraum die Stickstoffdioxid-Emissionen um rund zwei Drittel gesenkt werden.

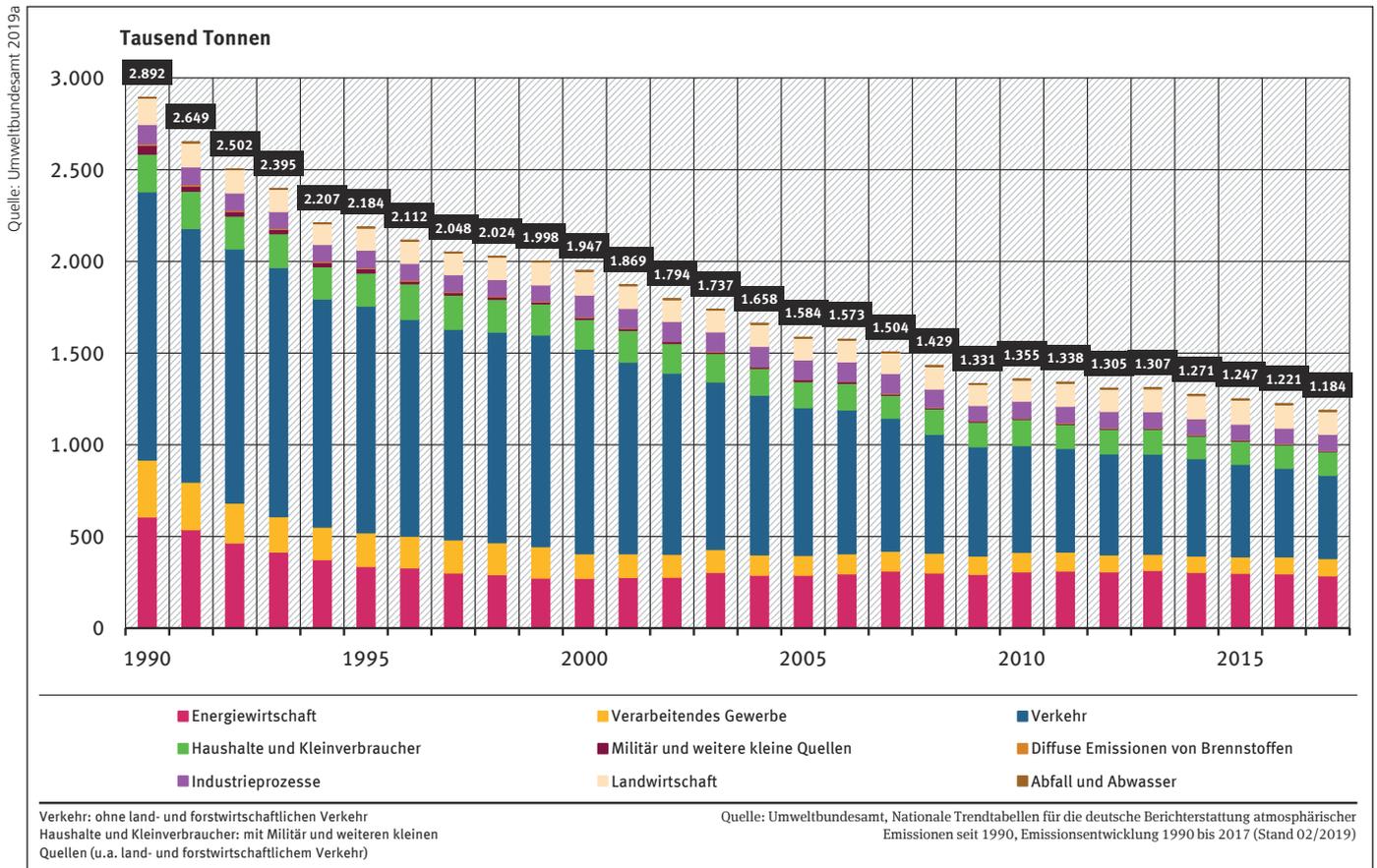


Abb. 3: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)-Emissionen nach Quellkategorien

Als mit Stickoxidbelastungen einhergehende gesundheitliche Folgen werden chronische Bronchitis und ein erhöhtes Herzinfarktisiko genannt (COSTA et al. 2014; RASCHE et al. 2018). Zwar verweisen Studien (WEINMAYR et al. 2010; WHO 2013) auf die Schwierigkeit, die Wirkung von Stickoxiden auf die menschliche Gesundheit isoliert von anderen Luftschadstoffen wie Feinstaub oder Ozon zu messen und zu bewerten. Dafür aber herrscht breiter Konsens, dass Stickstoffdioxid ähnliche Ausbreitungsmuster wie andere, nachweislich gefährliche Luftschadstoffe aufweist und somit einen sehr guten Indikator für anthropogene Luftverschmutzung darstellt (WHO 2013; COSTA et al. 2014; DGP 2018). Hier zeigen Studien insbesondere zu verkehrsbedingten Schadstoffemissionen und unter Berücksichtigung der lokalen Windverhältnisse, dass die Schadstoffkonzentration mit zunehmender Entfernung zur Straße bereits innerhalb der ersten 100 m deutlich abnimmt (WHO 2013).

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten daher – entsprechend der europäischen Richtlinie 2008/50/EG und 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – deutschlandweit konkrete Grenzwerte für Stickoxide. Der Jahresgrenzwert für Stickstoffdioxid beträgt – analog zu den WHO-Empfehlungen – 40 µg/m<sup>3</sup> Luft. Hinzu kommt ein gemittelter Stunden-Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid von 200 µg/m<sup>3</sup>, der im Jahr maximal 18 Mal überschritten werden darf. Zum Schutz der Vegetation beträgt zudem der über ein Kalenderjahr gemittelte kritische Wert für Stickstoffoxide 30 µg/m<sup>3</sup>.

### 2.3 Ozon

Ozon (O<sub>3</sub>) ist ein leicht bläuliches, nicht wasserlösliches Gas. Es kommt zum einen in der Stratosphäre vor, wo es einen natürlichen Schutzschild gegen die schädliche UV-Strahlung bildet, und zum anderen in der bodennahen Atmosphäre. In beiden Sphären ist die Entstehung von Ozon eng mit der Sonneneinstrahlung verknüpft. Während das Ozon in der Stratosphäre ein Produkt von Reaktionen natürlich vorkommender Gase ist, entsteht bodennahes Ozon infolge starker Sonneneinstrahlung aus anderen Luftschadstoffen der Atmosphäre, insbesondere Stickstoffdioxid. Hohe Ozonbelastungen finden sich in sonnigen Sommermonaten insbesondere am Stadtrand und in angrenzenden ländlichen Gebieten. An innerstädtischen und verkehrsintensiven Standorten hingegen reagiert entstandenes Ozon wieder mit Stickstoffmonoxid und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zu Stickstoffdioxid.

Ozon ist es ein schädliches Reizgas, mit negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Nutzpflanzen und Ökosysteme. Bodennahes Ozon hat eine Reizung der Schleimhäute zur Folge, längerfristig kann es zu entzündlichen Reaktionen der Atemwege, zu Herz-Kreislauferkrankungen und zu Asthma kommen (DGP 2018). Zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Ozon gilt gemäß der 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz ein Zielwert von 120 µg Ozon pro m<sup>3</sup> Luft als höchster 8-Stundenmittelwert, der im Jahr maximal 25 Mal überschritten werden darf. Zur Sicher-

heit der Bevölkerung wurden zudem eine Informationsschwelle (180 µg/m<sup>3</sup> Luft, 1-Stundenmittelwert) und eine Alarmschwelle (240 µg/m<sup>3</sup> Luft, 1-Stundenmittelwert) für Überschreitungen festgelegt.

### 3. Luftreinhalteplanung in NRW und Westfalen

Im Jahr 2002 wurde die erste EU-Rahmenrichtlinie zur Luftqualitätsüberwachung in deutsches Recht umgesetzt. Sie soll dazu beitragen, die Luftqualität zu erhalten und zu verbessern. In ihr sind einheitliche Methoden und Kriterien für die EU-Mitgliedsstaaten festgelegt. Zentraler Bestandteil der EU-Rahmenrichtlinie sind die darin formulierten Grenzwerte, die für alle Mitgliedsländer verpflichtend einzuhalten sind. Es wurden außerdem Fristen formuliert, um Maßnahmen zur Erreichung der Grenzwerte einzuleiten. Da trotz Bemühungen eine Senkung und somit Durchsetzung der angestrebten Fristen nicht absehbar war, wurde 2008 eine neue Rahmenrichtlinie verabschiedet. Diese macht es den EU-Mitgliedsstaaten möglich, Fristen zu verlängern. Insbesondere Nordrhein-Westfalen (NRW) hat von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht, da es in manchen Regionen nicht möglich war, die Grenzwerte einzuhalten. Gründe waren neben dem hohen Verkehrsaufkommen im Ballungsraum Rhein-Ruhr vor allem die zahlreichen Industrieanlagen und Kraftwerke (LANUV 2018a).

Zuständig für die Luftreinhaltung in NRW sind die Bezirksregierungen. Ihre Aufgabe ist es, in Gebieten mit hoher Luftbelastung und Überschreitung der Grenzwerte, Luftreinhaltepläne zu entwickeln und Maßnahmen durchzuführen. Welche Maßnahmen durchgeführt werden und wo sie greifen, hängt von den zuvor ermittelten Emittenten sowie von der Schadstoffgruppe ab. Je nach Belastung werden folgende Maßnahmen im Bereich Industrie, private Kleinf Feuerungsanlagen und/oder Verkehr empfohlen (MKULNV NRW 2019):

#### 1. Industrieanlagen/Baustellen/Tagebaue/Steinbrüche

- Sanierung von Altanlagen,
- Fortschreibung von Energieversorgungskonzepten und Ausbau des Fernwärmenetzes,
- Abdeckung staubender Güter durch Bunkeranlagen,
- Nutzung von Berieselungsanlagen bei Bau- und Abbrucharbeiten.

#### 2. Heiz- und Kleinf Feuerungsanlagen in kleinen und mittleren Unternehmen sowie Privathaushalten

- Unterstützung von kleinen- und mittleren Unternehmen KMU (Projekte für integrierte Umwelttechnik),
- Anreizsysteme zur Umstellung von Feuerungsanlagen (Gasbetrieb, Fernwärme, Feinstaubfilter),
- Energieeinsparung durch Sanierungsmaßnahmen an Altbauten und energieeffizienten Neubauten,
- Dach- und Fassadenbegrünung, Anpflanzung von Staub filternder Vegetation.

#### 3. Verkehr/Mobilität

- Ausweisung von Umweltzonen, Verbesserung der Citylogistik, effizientes Mobilitätsmanagement,
- Ausbau eines schadstoffarmen Öffentlichen Personen-

- nahverkehrs (ÖPNV),
- Durchfahrtsverbote für LKW bzw. Optimierung der Anbindung von Gewerbe- und Industriegebieten.

Das Luftqualitäts-Überwachungssystem des Landes NRW (LUQS) erfasst und untersucht die Konzentrationen verschiedener Schadstoffe in der Luft. Dabei werden kontinuierliche Messverfahren und diskrete (diskontinuierliche) Messungen eingesetzt, die anschließend umfassend ausgewertet werden. Die Resultate kontinuierlicher Messungen können zeitnah als stationsbezogene Messwerte und nach Messkomponenten als aktuelle Luftqualität abgefragt werden. Die Werte diskontinuierlicher Messungen werden als Jahreskenngößen publiziert.

Die Luftqualität wird in NRW durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) erfasst. Zum Luftmessnetz des LANUV in NRW gehören derzeit insgesamt 172 Stationen, die in kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messreihen ausgewählte Luftschadstoffe aufzeichnen und aufgrund ihrer geographischen Lage unterschiedliche Ausgangssituationen abbilden. Dazu zählen zum einen der Faktor urbane Dichte (städtisch, vorstädtisch und ländlich geprägt), zum anderen die Lufthygieneparameter beeinflussenden Faktoren (Verkehr, Industrie, Hintergrund). Tatsächlich werden aber an 38 Stationen in NRW kontinuierliche Messungen für alle hier im Fokus stehenden Parameter (Feinstaub, Stickoxide und Ozon) durchgeführt, von denen lediglich 14 auf Westfalen entfallen. Die hier untersuchten Messstationen des LANUV in Westfalen und ihre Standortbedingungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Für alle in Tabelle 1 aufgeführten Stationen liegen für die untersuchten Luftschadstoffe (Feinstaub, Stickoxide und Ozon) langjährige und durchgehende Immissionsmessungen vor. Die übrigen vier in Westfalen befindlichen Messstationen Hattingen, Warstein, Hagen und Unna-Königsborn erfüllen diese Voraussetzungen nicht und wurden deshalb in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Die Standorte genügen den rechtlichen Vorgaben für Immissionsmessungen. Allerdings reizen die Stationen die

Tab. 1: Messstationen für Schadstoffbelastung des LANUV in Westfalen und ihre Rahmenbedingungen

Station	Umgebung	Standort
Bielefeld-Ost	städtisches Gebiet	Hintergrund
Borken-Gemen	ländlich stadtnah	Hintergrund
Bottrop-Welheim	städtisches Gebiet	Hintergrund/ Industrie
Dortmund-Eving	städtisches Gebiet	Hintergrund
Dortmund Steinstraße	städtisches Gebiet	Verkehr
Lünen-Niederaden	vorstädtisches Gebiet	Hintergrund
Münster-Geist	städtisches Gebiet	Hintergrund
Netphen-Rothargebirge	ländlich regional	Hintergrund
Schwerte	städtisches Gebiet	Hintergrund
Soest-Ost	ländlich stadtnah	Hintergrund

(Quelle: LANUV 2018c)

maximal zulässige Messhöhe, die sich „grundsätzlich in einer Höhe zwischen 1,5 Meter (Atemzone) und 4 Meter über dem Boden befinden“ muss (Anlage 3, Absatz C 39. BImSchV), nahezu gänzlich aus: Im Mittel befindet sich der Messeinlass für Gase bei allen Stationen auf 3,42 m und für Partikel auf 3,86 m Höhe (eigene Berechnung auf Basis der Angaben des LANUV 2018c). Für ein vertiefendes Verständnis werden die zehn Messstandorte hier näher vorgestellt, die Beschreibungen sind den Angaben des LANUV (2018c) entnommen:

Die Messstation **Bielefeld-Ost** steht auf einer Grünfläche am Rande des Ravensberger Parks, in der Nähe der Kreuzung Hermann-Delius-Straße/Bleichstraße. Die Umgebung ist locker bebaut und mit vielen Grünflächen durchsetzt. Das Stadtzentrum Bielefeld liegt etwa 1,2 km westlich davon. Die autobahnähnlich ausgebaute B 61 verläuft ca. 1,5 km westlich in Nord-Süd-Richtung.

Der Messort **Borken-Gemen** liegt 44 m über NN und repräsentiert eine ländliche, stadtnahe geprägte Hintergrundsituation. Die Station ist seit September 1998 in Betrieb und befindet sich auf dem Gelände eines

Foto: LANUV 2020



Abb. 4: Messstation Bottrop-Welheim

städtischen Pumpwerks. In nördlicher Richtung wird die Umgebung vorwiegend landwirtschaftlich genutzt, in ca. 100 m Entfernung verläuft hier zudem die B 67. Östlich der Station schließt sich direkt ein Gewerbegebiet an, in südwestlicher Richtung befinden sich Wohn- und Gewerbegebiete.

Der Messort **Bottrop-Welheim** befindet sich 30 m über NN und repräsentiert eine städtische Umgebung unter Einfluss der nahegelegenen Industrie (vgl. Abb. 4). Die Station steht auf der Grünfläche eines Schulgeländes innerhalb eines Wohngebietes und zeichnet seit dem August 1981 Schadstoffimmissionen auf. In etwa 1 km Entfernung in östlicher Richtung verläuft die Bundesstraße B 224. In ca. 700 m Entfernung zur Station befindet sich in südwestlicher Richtung das Gelände der Kokerei Prosper. Eine Kohleverflüssigungsanlage und das Hafengebiet des Rhein-Herne-Kanals schließen sich an.

Die Station **Dortmund-Eving** befindet sich auf einem Parkplatz mit wassergebundener Schotterdecke in einer Nebenstraße der B 54, ca. 3 km nördlich des Stadtkerns. Ca. 50 m westlich verläuft die Bundesstraße B 54 von Süd nach Nord. Im unmittelbaren Stationsumfeld finden sich mehrere Kfz-Betriebe. Im weiteren Umfeld liegen zahlreiche Gewerbebetriebe. Die Dortmunder Hafenanlage ist etwa 1 km südwestlich gelegen.

Der Messort **Dortmund Steinstraße** befindet sich im innerstädtischen Gebiet auf 79 m über NN und ist seit November 2001 in Betrieb. Es handelt sich um einen verkehrsbelasteten Standort. Die Station steht ungefähr 1 km nördlich des Dortmunder Stadtzentrums und ist ca. 6 m von einer vierspurigen Hauptverkehrsstraße entfernt. Rund 40 m westlich der Station verläuft zudem die B 54. Das gesamte Stationsumfeld besteht aus Wohn- und Geschäftsgebäuden.

Der Messort **Lünen-Niederaden** liegt 58 m über NN und spiegelt eine vorstädtisch geprägte Hintergrundsituation wider. Seit Dezember 1980 in Betrieb, steht die Station in einem Wohngebiet auf der Grünfläche vor einer Kindertagesstätte, etwa 4 km südöstlich des Stadtkerns. Die Bundesautobahn A 2 verläuft südlich der Station in etwa 500 m Entfernung von Ost nach West. Das weitere Stationsumfeld ist ländlich strukturiert.

Der Messcontainer **Münster-Geist** steht auf dem Gelände der Ludwig-Erhard-Schule. Im unmittelbaren Umfeld befinden sich neben dem Schulgebäude eine Kleingartenanlage und freistehende Wohngebäude. Ein Gewerbegebiet ist etwa 1,5 km östlich bis südöstlich der Messstation vorhanden. Die Bundesstraßen B 51, B 54 und B 219 verlaufen ca. 200 m südlich, 700 m östlich und 500 m westlich der Messstation.

Die Messstation **Netphen-Rothaargebirge** liegt 641 m über NN in einem ländlich regionalen Umfeld. Die Station befindet sich in einem Waldgebiet und ist seit Dezember 1985 in Betrieb. Sie ist ca. 7,5 km in südöstlicher Richtung vom nächstgelegenen Ort Hilchenbach entfernt. Auf einer Wiese stehend beträgt der Abstand zum Waldrand, der überwiegend aus Fichten besteht, ca. 70 m.

Die Messstation **Schwerte** steht auf einer Grünfläche. Nördlich, in etwa 300 m Entfernung, befindet sich ein Ausbesserungswerk der Deutschen Bahn AG. An dieses Gelände schließt sich im Nordwesten ein Gewerbe- und Industriegebiet mit metall- und bauschuttverarbeitenden Betrieben sowie einer Lackiererei an. Das weitere Umfeld besteht aus Wohnbebauung. Etwa 1,5 km nördlich verläuft die Bundesautobahn A 1 und 1 km südwestlich die Bundesstraße B 236.

Die Station **Soest-Ost** steht etwa 3 km östlich des Stadtzentrums auf einem Acker und wird umgeben von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Bundesstraße B 1 verläuft etwa 600 m nördlich, 1,3 km bzw. 2 km südlich die Bundesstraße B 475 bzw. die Bundesautobahn A 44.

Südwestlich, in 1,5 km Entfernung, liegt ein Gewerbegebiet.

Dass Messstationen auch an höher belasteten Standorten stehen, folgt den europäischen Vorgaben, sollte jedoch durchaus kritisch hinterfragt werden.

#### 4. Immissionsentwicklung für ausgewählte Lufthygieneparameter (2006–2017)

Die nachfolgende Datenanalyse diskutiert die Immissionsentwicklung für die ausgewählten Lufthygieneparameter Feinstaub (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>). Berücksichtigt werden sämtliche Stationen des LANUV in Westfalen, bei denen für den Untersuchungszeitraum (2004–2018) durchgängige Datenaufzeichnungen für die genannten Parameter vorliegen.

##### 4.1 Feinstaub PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>

Abbildung 5 veranschaulicht für den Zeitraum 2004 bis 2018 die Entwicklung der PM<sub>10</sub>-Feinstaubbelastung (Jahresmittel) an Standorten mit kontinuierlichen Messungen in Westfalen. Insgesamt lässt sich für die berücksichtigten Stationen eine abnehmende Schadstoffkonzentration beobachten, die im Mittel -0,57 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr beträgt. Der Rückgang der Feinstaubimmissionen zeichnet sich besonders deutlich an städtisch geprägten Standorten ab: -0,93 µg/m<sup>3</sup> in der Dortmunder Steinstraße und -0,82 µg/m<sup>3</sup> in Lünen-Niederaden. In ländlichen Regionen fällt der Rückgang geringer aus: -0,23 µg/m<sup>3</sup> in Soest-Ost und -0,13 µg/m<sup>3</sup> in Netphen-Rothaargebirge. Damit setzt sich der rückläufige Trend der Vorgängerstudie – wenn auch moderater – weiter fort: Die durchschnittliche Abnahme

am Standort Bottrop-Welheim in Höhe von -1,69 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr für den Zeitraum 1987 bis einschließlich 2004 (BÜNS et al. 2007, S. 14) bleibt im vorliegenden Untersuchungszeitraum mit -0,8 µg/m<sup>3</sup> unerreicht.

Insgesamt liegen die Jahresmittel deutlich unter dem EU-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> (vgl. rot gestrichelte Linie in Abb. 5). Allerdings können die Grenzwertempfehlungen der WHO an den untersuchten Messorten erst seit 2012 in zunehmendem Maße eingehalten werden (vgl. gelb gestrichelte Linie in Abb. 5). Mit der räumlichen Nähe zu urbanen Ballungsräumen geht weiterhin eine höhere PM<sub>10</sub>-Belastung einher: Die höchsten PM<sub>10</sub>-Konzentrationen finden sich durchgängig am verkehrsbelasteten Standort der Dortmunder Steinstraße sowie der von Industrie geprägten Messstation in Bottrop-Welheim. Die überwiegend ländlich geprägten Messorte Münster-Geist, Soest-Ost und Netphen-Rothaargebirge hingegen wiesen sowohl im Jahr 2004 als auch 2017 im Jahresmittel die niedrigsten PM<sub>10</sub>-Konzentrationen auf.

Der zum Teil deutliche Anstieg des Feinstaubes PM<sub>10</sub> im Jahr 2018 (Abb. 5, z. B. Münster-Geist) ist auf die außergewöhnlich trockenen Witterungsbedingungen in den Monaten Februar bis September zurückzuführen, wodurch das Aufwirbeln und Ferntransporte von Feinstaub begünstigt wurden.

Die Anzahl der Überschreitungstage stellt einen weiteren Indikator für die lokale Belastung der Luftqualität durch Schadstoffimmissionen dar: Pro Kalenderjahr sind 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes in Höhe von >50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> zulässig. Auch hier ist für die Messstandorte in Westfalen ein abnehmender Trend zu konstatieren (vgl. Abb. 6). Die mittlere Anzahl der Überschreitungstage hat sich zwischen 2002 und 2010 nahezu halbiert: von 26,3

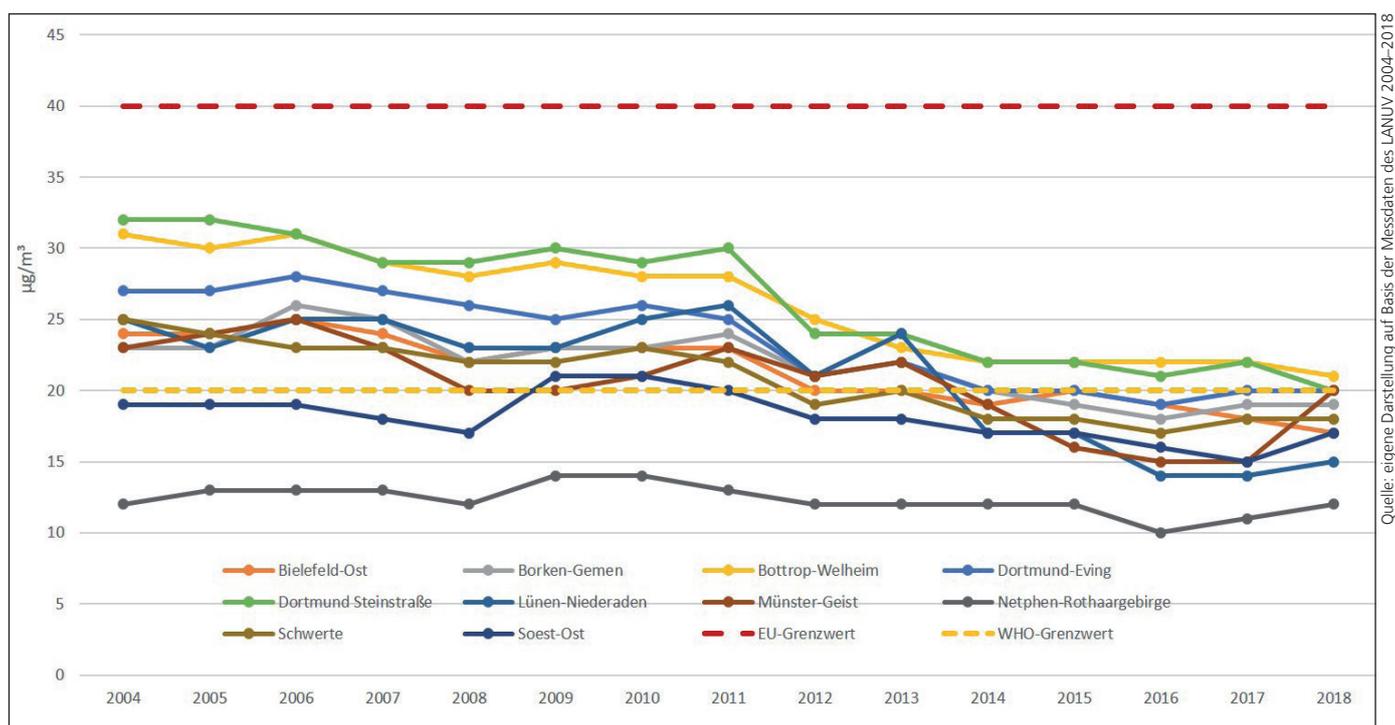


Abb. 5: Entwicklung der Jahresmittel für Feinstaub PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup> für ausgewählte Messstationen in Westfalen

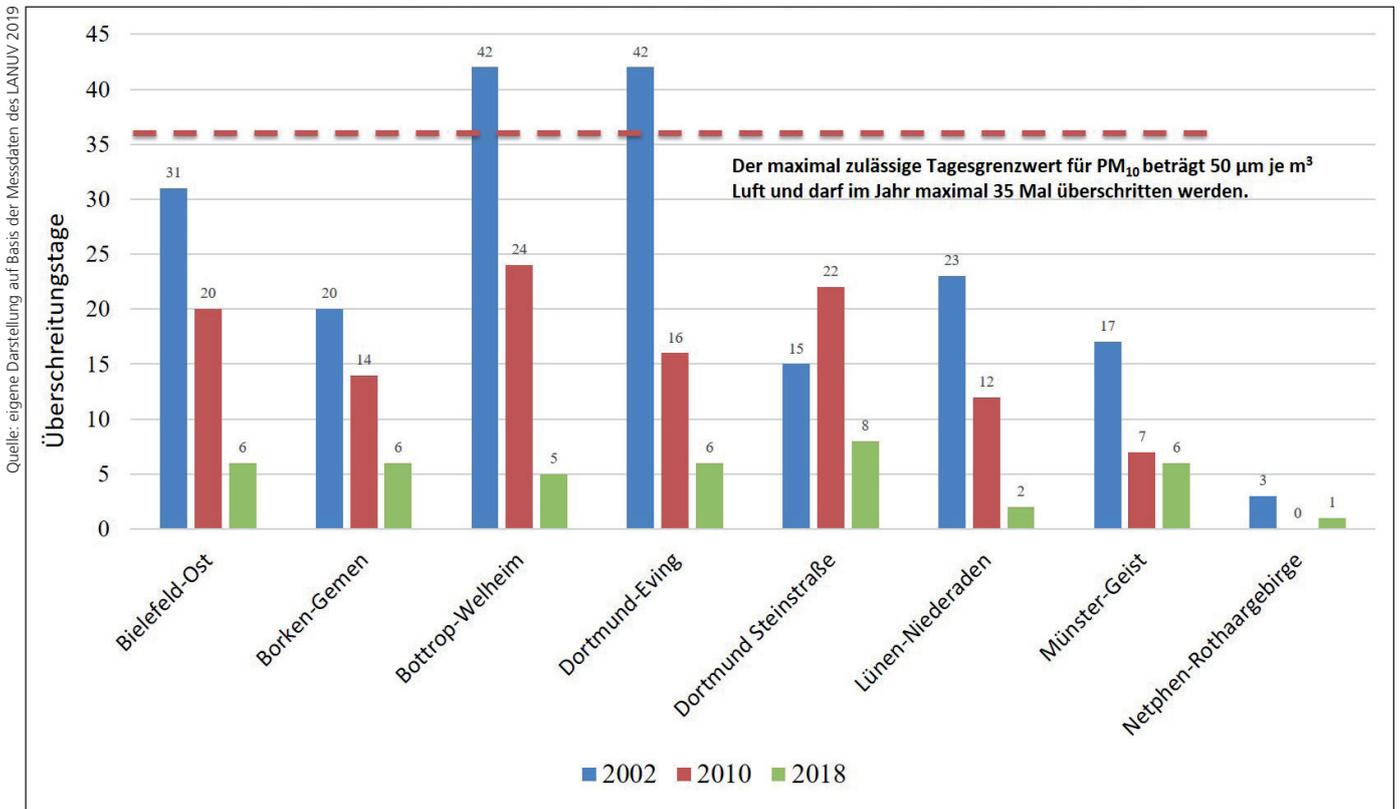


Abb. 6: Entwicklung PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage mit >50 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr an ausgewählten Messstationen in Westfalen (hochgerechnet)

auf 13,3. Im Jahr 2018 sank der Wert weiter auf durchschnittlich 4,6 Überschreitungstage, was weiterhin über den WHO-Empfehlungen von maximal drei Überschreitungstagen im Jahr liegt.

Allerdings zeigt das Beispiel der Messstation Dortmund Steinstraße, dass abnehmende Trends durch meteorologisch und lokalräumlich bedingte Jahresschwankungen durchaus unterbrochen werden können. Zwar konsta-

tiert das LANUV für NRW ab den 1980er Jahren einen „vergleichsweise starken Erwärmungstrend“ von 1,5 °C (LANUV 2016a). Dennoch können sich hier weiterhin der Einfluss kalter Winter und die damit einhergehenden intensiven Heizperioden bemerkbar machen. Gegenüber dem Jahresmittel von 9,6°C für den Zeitraum 1981–2010 fiel beispielsweise das Jahr 2010 mit einer mittleren Jahrestemperatur von 8,4 °C deutlich niedriger aus (LANUV 2016a).

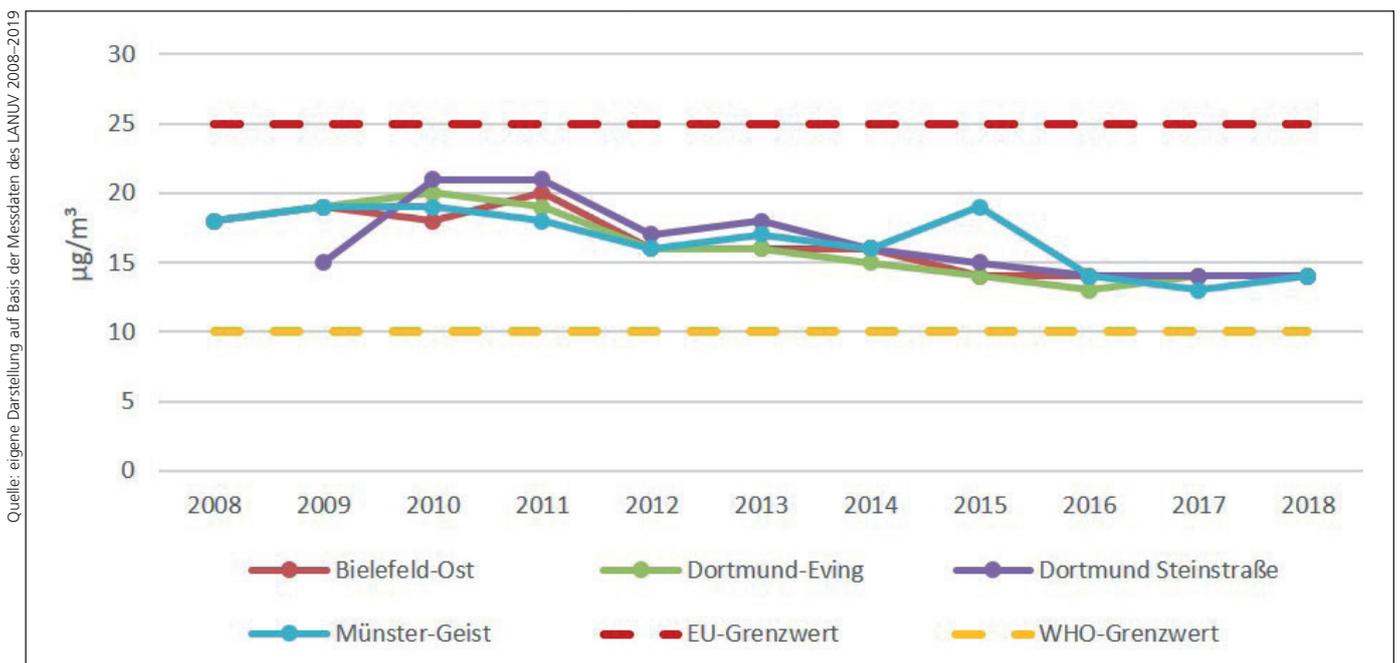


Abb. 7: Entwicklung der Jahresmittel für Feinstaub PM<sub>2,5</sub> in µg/m<sup>3</sup> an ausgewählten Messstationen in Westfalen

Neben den PM<sub>10</sub>-Messungen werden seit dem Jahr 2008 an den Stationen Bielefeld-Ost, Dortmund-Eving, Münster-Geist sowie seit 2009 in der Dortmunder Steinstraße zudem die Feinstaub-Immissionen für PM<sub>2,5</sub> erhoben. Über den neun- bzw. achtjährigen Beobachtungszeitraum hinweg lässt sich hier im Durchschnitt eine abnehmende Schadstoffkonzentration in Höhe von -0,62 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr festhalten (vgl. Abb. 7).

Analog zu den PM<sub>10</sub>-Werten liegen auch die PM<sub>2,5</sub>-Jahresmittel durchgängig unter dem EU-Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> (vgl. rot gestrichelte Linie in Abb. 7). Seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 2008 lässt sich bis einschließlich 2018 für die vier berücksichtigten Stationen eine Abnahme der Schadstoffkonzentration feststellen, die im Mittel -0,59 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr betrug. Dem bisherigen Trend folgend sollten die Messwerte auch der Verschärfung der Grenzwertvorgaben auf 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2020 gerecht werden können. Die WHO-Grenzwertempfehlungen (gelb gestrichelte Linie in Abb. 7) von 10 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr hingegen konnten bislang an keinem der städtisch geprägten Standorte eingehalten werden.

Bei UFP-Immissionen stehen insbesondere Flugzeuge als Hauptemittenten im Fokus. UFP werden in NRW nicht systematisch erfasst. Für die Einfugschneise des Flughafens Düsseldorf liegen bislang lediglich Messungen einer privaten Bürgerinitiative vor, die mittels einer mobilen Messanlage erhoben wurden (MULNV NRW 2017). Die Messungen zeigen, wie sich die lokale UFP-Belastung durch startende und landende Flugzeuge in Einfugschneisen kurzfristig erhöhen kann: von 45.000 auf 130.000 Partikel je Kubikmeter Luft. In unmittelbarer Nähe des Flugfeldes des Düsseldorfer Flughafens soll die Belastung sogar 500.000 Teilchen betragen (vgl. HARTMANN 2016).

## 4.2 Stickoxide

Wie schon bei den Ergebnissen der Vorgängerstudie (BÜNS et al. 2007) lässt sich nach anfänglichen Schwankungen ab 2009 ein leicht abnehmender Trend der Stickstoffimmissionen beobachten (vgl. Abb. 8). Zwischen 2000 und 2018 beträgt der Rückgang im Mittel -0,398 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr. Bemerkenswert sind die bis 2009 schwankenden und sogar steigenden Tendenzen in mehreren der untersuchten Kommunen (u. a. Borken-Gemen).

Weiterhin lässt sich ein starkes Stadt-Land-Gefälle beobachten. So liegen die Werte im ländlich geprägten Netphen-Rothaargebirge weit unter denen städtisch geprägter Hintergrundstationen. Zwischen 2000 und 2018 halbierten sich hier die Stickstoffdioxid-Werte von 10 auf 5 µg/m<sup>3</sup>. Die Gesamtabnahme im Zeitraum zwischen 2007 und 2016 war aber auch hier recht gering und vergleichbar mit den meisten anderen Stationen. In Bottrop-Welheim hingegen hat über den Gesamtzeitraum nur eine geringfügige Abnahme der Stickstoffdioxid-Immissionen (-0,082 µg/m<sup>3</sup> pro Jahr) stattgefunden. Drastisch fallen die Werte an der Messstation Dortmund Steinstraße aus. Hier wurde bis zum Jahr 2013 regelmäßig der Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit von 40 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Seit 2013 liegen die Werte zwar knapp darunter, jedoch immer noch über dem Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> zum Schutz der Vegetation.

Emissionsminderungen resultierten z. B. aus dem Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe und dem effizienteren Energieeinsatz. Als Grund für die Überschreitung der Stickstoffdioxid-Grenzwerte lässt sich vor allem hohes Verkehrsaufkommen nennen, wobei „insbesondere die Diesel-Fahrzeuge als Hauptverursacher der hohen NO<sub>2</sub>-

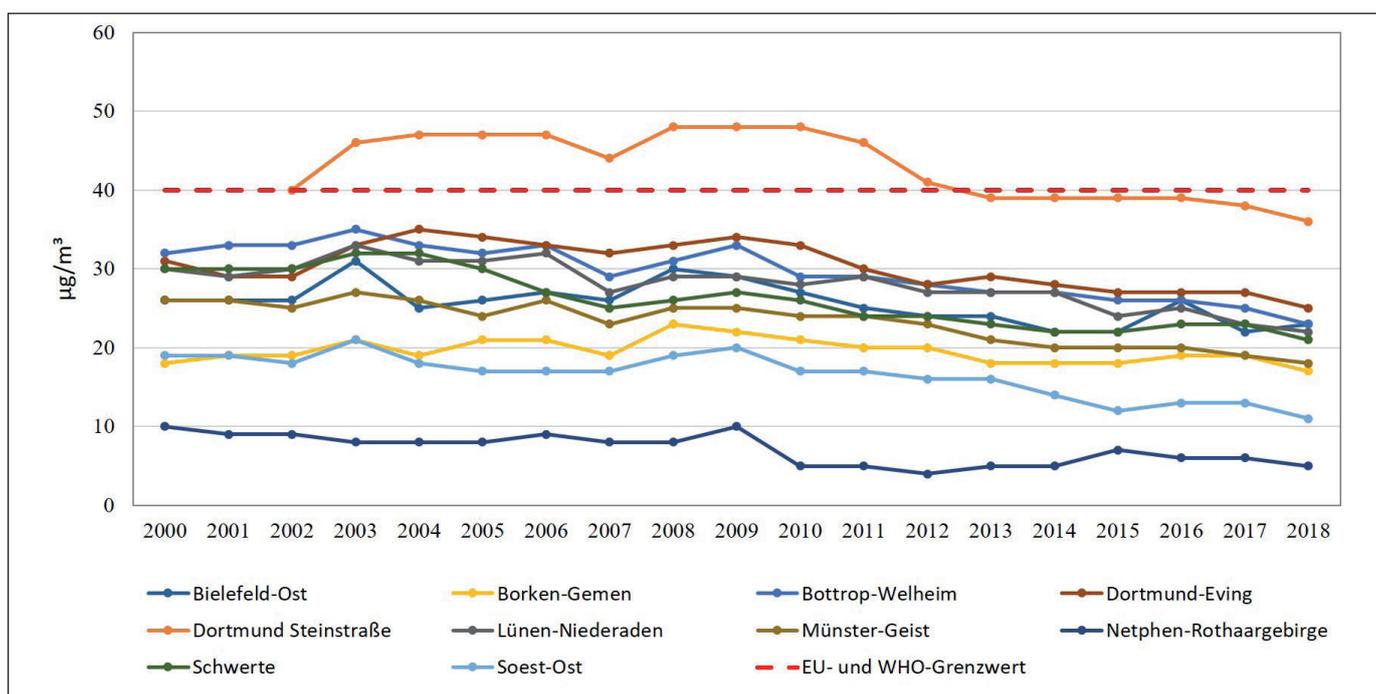


Abb. 8: Entwicklung der Jahresmittel für Stickstoffdioxid in µg/m<sup>3</sup> an ausgewählten Messstationen in Westfalen

Belastung anzusehen“ sind (LANUV 2017, S. 5). Die höchsten Stickstoffdioxid-Konzentrationen wurden dementsprechend nahe der Hauptemissionsquelle, also an viel befahrenen Straßen gemessen. Während die Deutsche Umwelthilfe als rasche Gegenmaßnahme entsprechende Dieselfahrverbote fordert, überarbeiten Städte des östlichen Ruhrgebiets ihren Luftreinhalteplan (VOLLME-RICH 2018 a u. b). Die derzeit praktizierten Maßnahmen führen jedoch lediglich zu einer räumlichen Verlagerung, statt zu einer Lösung des Problems: So führt ein LKW-Fahrverbot entlang der Brackeler Straße in Dortmund zu einer Verbesserung der Feinstaub- und Stickoxidwerte an der Messstation. Die Konsequenz ist jedoch, dass sich nunmehr LKW auf dafür nicht ausgelegten Straßen ihren Weg durch Wohngebiete bahnen und der sich stauende Verkehr die dortige Bevölkerung belastet (FRANZ 2019). Auch die als ‚erfolgreiche Maßnahme‘ (Durchfahrtsverbot

für 7,5-Tonner, Tempolimit und Straßengrün) bezeichnete Strategie der Stadt Bochum (2019) zur Senkung der Stickstoffdioxid-Belastung entlang der Herner Straße zielt im Wesentlichen auf eine Umlenkung des Verkehrsstroms abseits der Messstation ab und verfolgt damit statt eines ganzheitlichen Luftreinhalteplans ebenfalls Ergebniskosmetik.

### 4.3 Ozon

Im Vergleich zu BÜNS et al. (2007) gab es bei den gemittelten Ozon-Werten von 2002–2018 kaum Veränderungen. Die im ‚Rekordsommer‘ 2003 sowie im Jahr 2006 erhöhten Werte (vgl. Abb. 9) lassen sich auf eine besonders hohe Strahlungsintensität zurückführen (LANUV 2006).

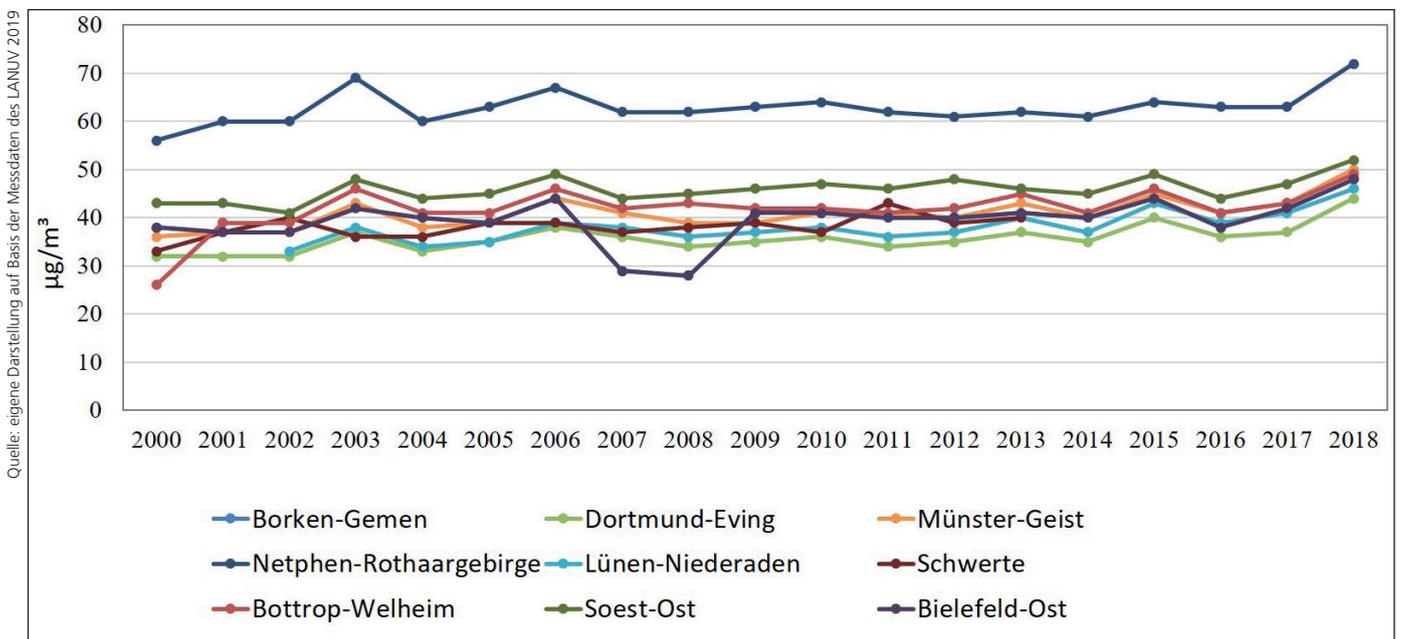


Abb. 9 Entwicklung der Jahresmittel für Ozon in µg/m³ an ausgewählten Messstationen in Westfalen

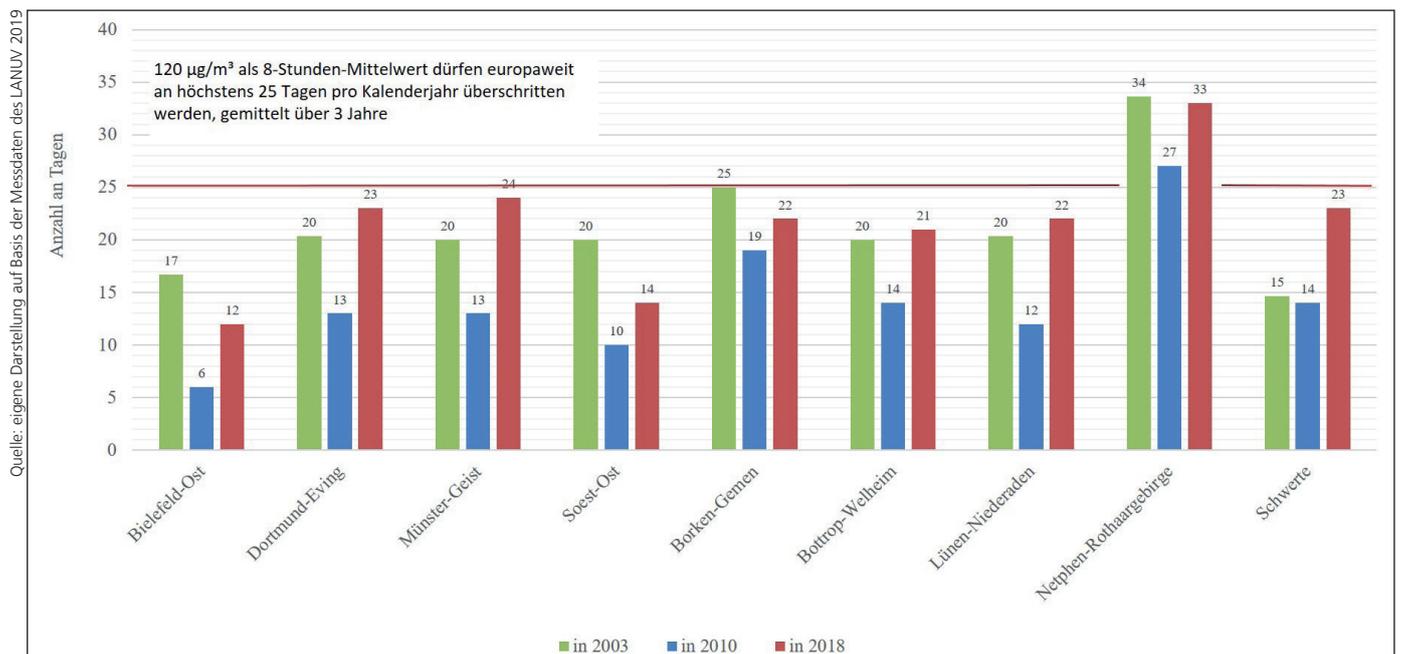


Abb. 10: Anzahl der Überschreitungstage für Ozon (> 120 µg/m³ als 8-Stunden-Mittel) an ausgewählten Messstationen in Westfalen

Heraus sticht zudem die oben angesprochene höher ausfallende Ozonkonzentration in ländlichen Räumen (Netphen-Rothaargebirge), die mit zunehmender Nähe zu urbanen Ballungsräumen (Soest-Ost und Borken-Gemen) sinkt und in Stadtgebieten (Bielefeld-Ost) die niedrigsten Messwerte aufweist. In den Jahren 2018 und 2019 folgten erneut sommerliche Rekordjahre (DWD 2019a u. b), die deutschlandweit erhöhte Ozonwerte nach sich zogen (Umweltbundesamt 2018). Anhand der Stationsdaten des LANUV zeichnete sich im Zeitraum von 2002–2017 bereits eine durchschnittliche Steigerung der Ozonwerte von  $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Jahr ab.

Da Jahresmittelwerte für Ozon keine Auskunft über die durch kalte und warme Jahreszeiten bedingte Schwankungen der Ozonkonzentrationen und die damit einhergehenden Belastungen für die menschliche Gesundheit geben, soll der Blick auf die Zahl der Überschreitungstage des Ozonzielwerts von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gelenkt werden (vgl. Abb. 10):

Für die Anzahl der Überschreitungen ist – gemittelt über drei Jahre – derzeit kein abnehmender Trend zu konstatieren. Maßnahmen zur Reduzierung von Stickoxid-Emissionen (DGP 2018) führten in Deutschland zwar zunächst zu einem Rückgang der Überschreitungstage zwischen 2003 und 2007. Im Zuge der zuletzt extrem warmen Sommer 2017 und 2018 stieg ihre Anzahl jedoch wieder deutlich an. Angesichts der sommerlichen Hitzerekorde im Jahr 2019 bleibt es ungewiss, in welche Richtung sich die Ozonbelastung auf mittlere Sicht entwickelt.

## 5. Emissions-Analyse

Die bisherige Trendanalyse spiegelt eine Bewertung der punkthaft gemessenen Schadstoffmissionen wider

und gibt nur eingeschränkt Auskunft über die räumliche Verbreitung der Schadstoffbelastung in Westfalen. Allerdings wurde auf Basis der Auswertung ein starker Stadt-Land-Gegensatz deutlich, der auf die höheren Schadstoffemissionen in urbanen Ballungsräumen zurückzuführen ist. Die nachfolgenden Abbildungen und Karten sind als Versuch zu werten, Quellen der Luftbelastung räumlich darzustellen und am Beispiel von  $\text{PM}_{10}$  zu einem besseren Verständnis zwischen Schadstoffemission und ihrer räumlichen Verbreitung beizutragen. Als Grundlage dafür dienen das Emissionskataster Luft für NRW und die vom LANUV zur Verfügung gestellten Datensätze.

In Abbildung 11 wird deutlich, dass rund 80 % der Emissionen Westfalens aus Verkehr und Industrie stammen. Dennoch offenbaren sich regionale Unterschiede, die nachfolgend erläutert werden sollen.

Zum einen entfallen die höchsten absoluten Feinstaubemissionen auf die Kreise Recklinghausen (630 t/Jahr) und Steinfurt (579 t/Jahr), die niedrigsten auf die kreisfreien Städte Herne und Bottrop (je 106 t/Jahr). Allerdings sind diese absoluten Werte in Relation zum administrativen Verwaltungsgebiet zu setzen (vgl. Abb. 12).

Obwohl Herne den insgesamt niedrigsten Feinstaubausstoß in Westfalen aufweist, stellt es – dem verhältnismäßig kleinen Verwaltungsgebiet von  $50 \text{ km}^2$  geschuldet – mit 2,1 Tonnen zugleich auch den zweithöchsten Ausstoß nach Gelsenkirchen (4,1 t) pro Quadratkilometer im Jahr 2012 dar. Entstanden die  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen in Herne zu 60 % dem Verkehrssektor, sind die Hauptemittenten im Falle Gelsenkirchens mit 73 % die dort ansässigen Industrien. Großflächige Kreise wie Borken und Hochsauerland (je  $0,2 \text{ t}/\text{Jahr}/\text{km}^2$ ) hingegen weisen die niedrigsten  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen auf. Deutlich wird aber auch, dass länd-

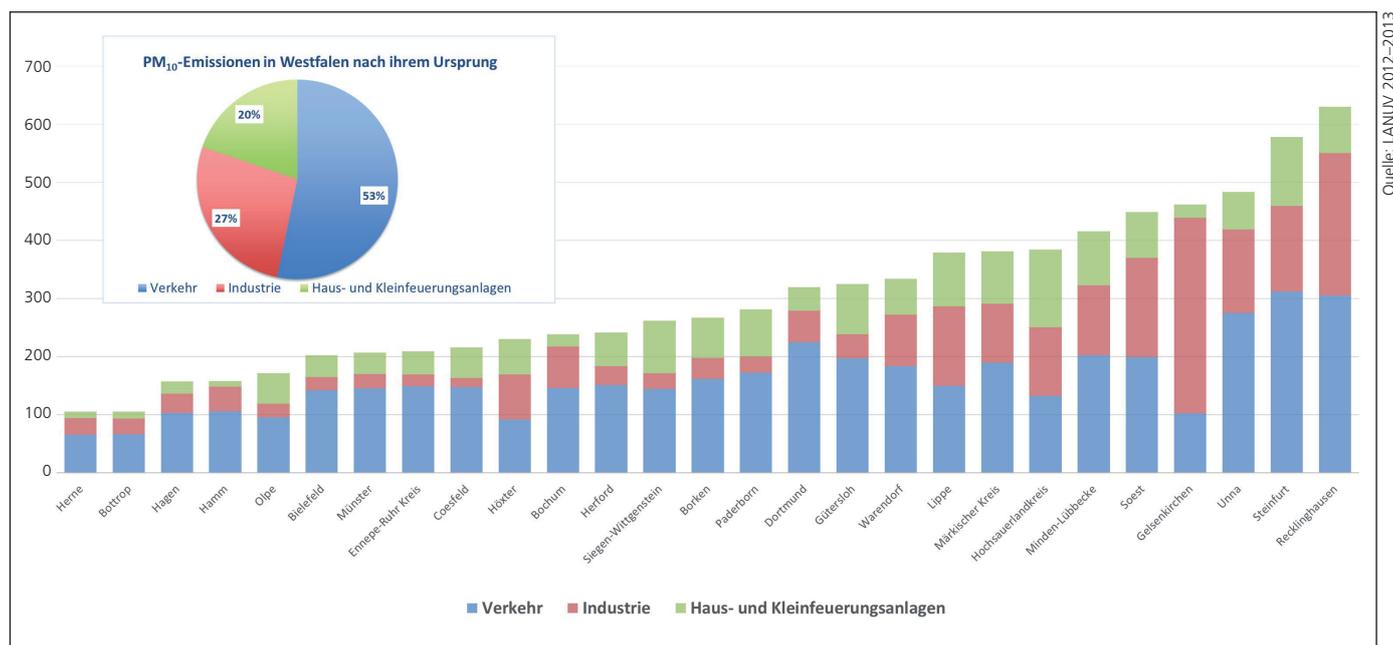


Abb. 11:  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen in t für das Jahr 2012 (Haus- und Kleinf Feuerungsanlagen sowie Industrie) und 2013 (Verkehr) für Kreise und kreisfreie Städte in Westfalen

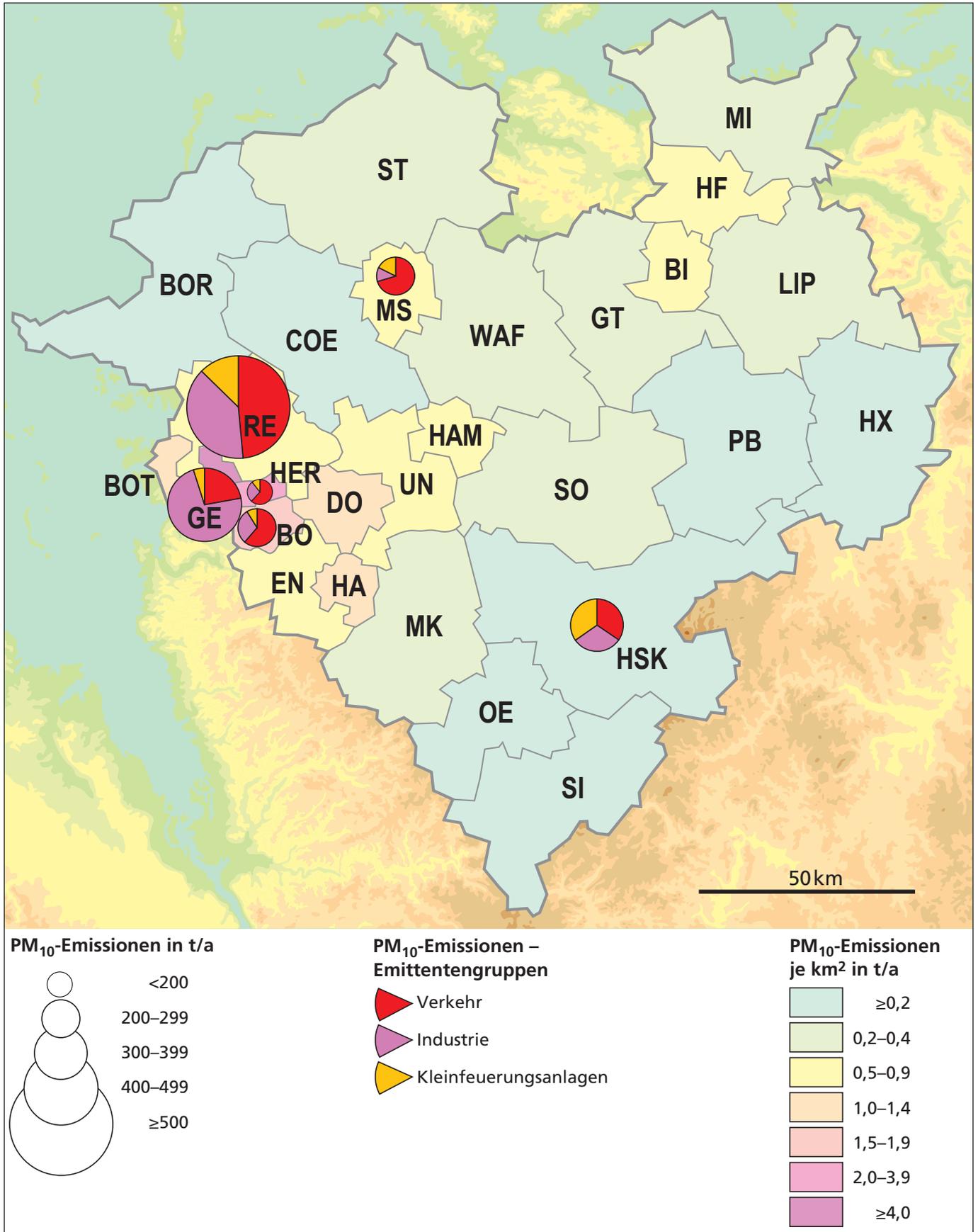
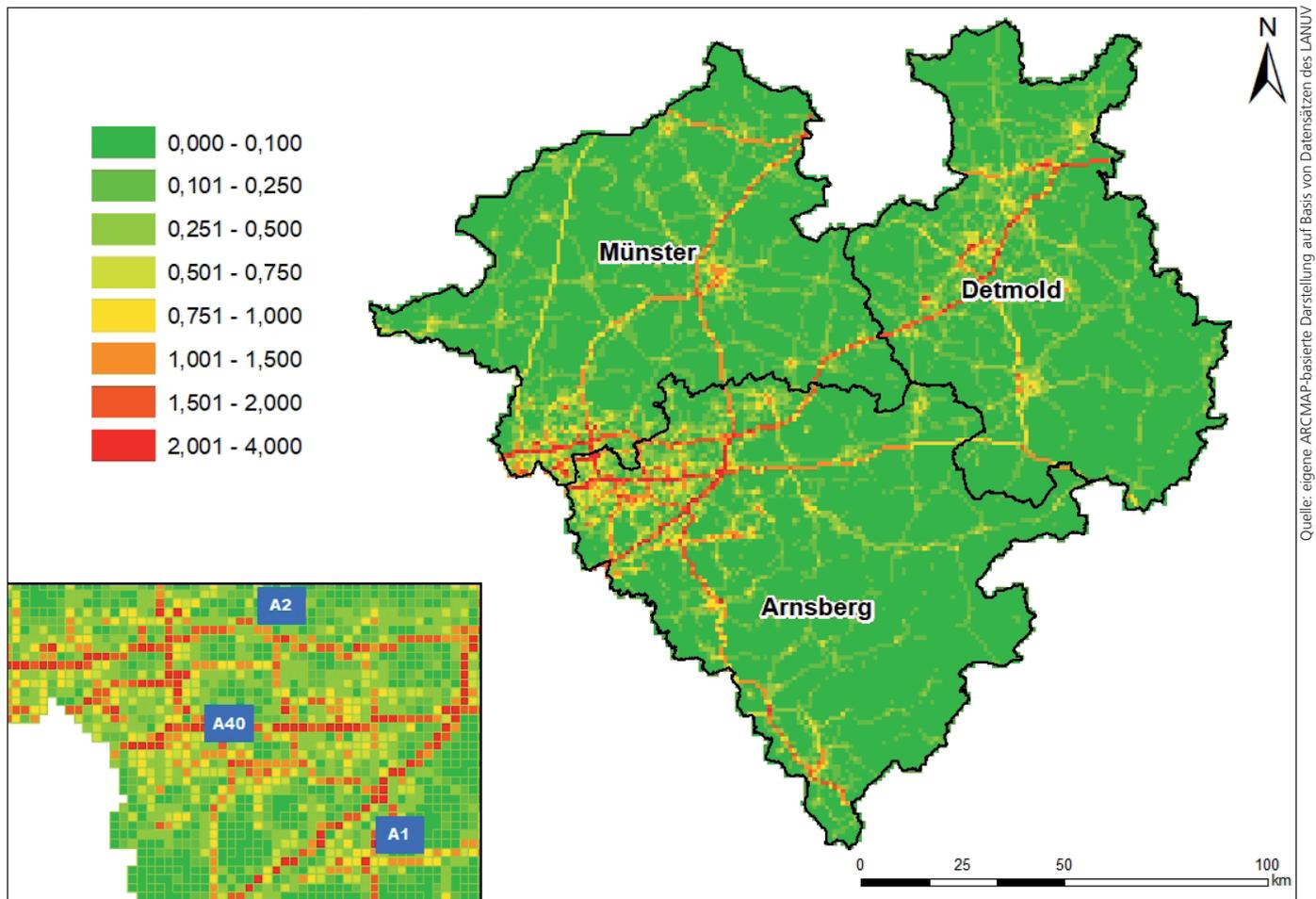


Abb. 12: Informationskarte zu Feinstaubemissionen (PM<sub>10</sub>) im Jahr 2012 ausgewählter Kreise und kreisfreier Städte in Westfalen

lich geprägte Kreise deutlich höhere Feinstaubemissionen aus Haus- und Kleinfeuerungsanlagen aufweisen als urban geprägte Räume: Hier sind der Hochsauerlandkreis (34,7 %) und der Kreis Siegen-Wittgenstein (34,4 %) Spitzenreiter.

Vertieft werden nachfolgend nur bodennahe Feinstaubemissionen aus Straßenverkehr sowie Haus- und Kleinfeuerungsanlagen, die sich im Nahbereich der jeweiligen Quelle auswirken. Emissionen aus genehmigungsbedürftigen Industrieanlagen hingegen weisen in Abhängigkeit



Quelle: eigene ARCMAP-basierte Darstellung auf Basis von Datensätzen des LANUV

Abb. 13: Räumliche Darstellung von KFZ-Feinstaub-Emissionen (Tonnen  $PM_{10}$  pro Jahr und  $km^2$ ) in den drei Regierungsbezirken in Westfalen im Jahr 2015

von ihrer Freisetzungshöhe und der vorherrschenden Windrichtung eine höhere Reichweite auf. Allerdings liegen hier nur Daten aus dem Jahr 2012 vor, die zudem nicht flächendeckend verfügbar sind (Die Firma Thyssen-Krupp beispielsweise hat in ihren Emissionserklärungen für das Jahr 2012 Feinstaubwerte für  $PM_{2,5}$  nicht angegeben. Dies betrifft Industrieanlagen in den Städten Duisburg, Bochum, Dortmund und Kreuztal). Kritisch zu hinterfragen sind außerdem die Berechnungen der verkehrsbedingten Feinstaubemissionen. So beruhen die berechneten Emissionswerte auf Schätzungen des Verkehrsaufkommens und „kraftfahrzeugspezifischen Einflussfaktoren“, denen unter anderem die Art des Motors, Abgasnachbehandlung etc. zugrunde gelegt werden. Hier gilt es zu berücksichtigen, dass die Emissionsmodellierungen des LANUV unter anderem auf den offiziellen Abgaswerten der Autohersteller beruhen, und zwar noch vor Bekanntwerden des Dieselabgasskandals. Die modellierten Emissionswerte fallen dementsprechend zu niedrig aus. Nach Auskunft des LANUV erfolgt daher für das Jahr 2020 eine neue Modellierung der Straßenverkehrsemissionen, welche die realen Abgaswerte von Kraftfahrzeugen berücksichtigen soll.

In Abbildung 13 wird die räumliche Konzentration von Feinstaubemissionen entlang der Hauptverkehrsadern Westfalens im Jahr 2015 deutlich. Die höchsten Konzentrationen finden sich entlang der Autobahnkreuze viel-

befahrener Autobahnen wie der A 1, A 2 und A 45 sowie im Ruhrgebiet entlang der A 40 und A 43. Hier lagen die Feinstaubwerte ( $PM_{10}$ ) schätzungsweise bei bis zu 3,9 t/Jahr/ $km^2$ .

Am Beispiel des Autobahndreiecks Essen-Ost (A 40/A 52) lässt sich zudem die Wirkung von Rückstau und dem damit einhergehenden erhöhten Feinstaubaufkommen nachvollziehen. In unmittelbarer Wohnumgebung soll hier die  $PM_{10}$ -Konzentration im Jahr 2013 bei bis zu 3,1 t/ $km^2$  gelegen haben (LANUV 2016b). Kraftfahrzeuge stellen demnach die Hauptquelle für verkehrsbedingte Feinstaubemissionen dar.

Eine weitere Feinstaubquelle stellt der dieselbetriebene Schienenverkehr entlang der einschlägigen Güterbahntrassen dar: in Ost-West-Richtung durch das Ruhrgebiet nach Bielefeld und Paderborn sowie in Nord-Süd-Richtung über Münster nach Osnabrück. Dadurch stieg die räumliche Emissionsbelastung auf bis zu 4,4 t Feinstaub/Jahr/ $km^2$ . Feinstaubemissionen in Folge des Flugverkehrs hingegen machen sich in Relation zum Straßen- und Schienenverkehr nur in einer geringfügigen Steigerung der  $PM_{10}$ -Feinstaubemissionen in unmittelbarer Nähe der Regionalflughäfen (insbesondere Dortmund, Münster-Osnabrück, Paderborn-Lippstadt) und den damit einhergehenden Einflugschneisen bemerkbar. Zugleich fehlen belastbare Daten zur UFP-Belastung aus Flugzeugtriebwerken (siehe 4.1).

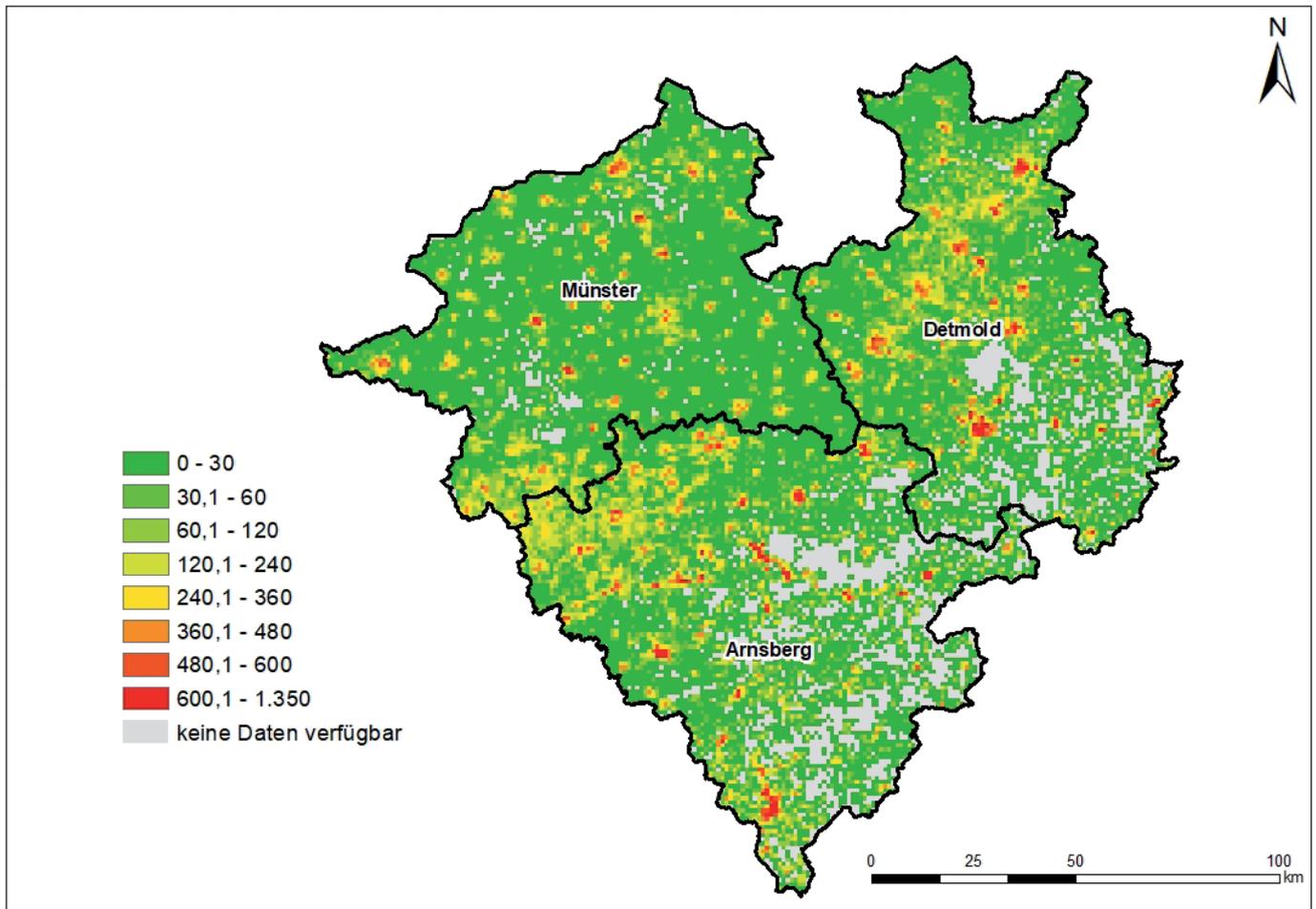


Abb. 14: Räumliche Darstellung von Feinstaub-PM<sub>10</sub>-Emissionen (kg PM<sub>10</sub> pro Jahr und km<sup>2</sup>) aus Kleinf Feuerungsanlagen und Hausbrand 2015 in den drei Regierungsbezirken in Westfalen

Die Betrachtung der Feinstaub-Emissionen (PM<sub>10</sub>) aus Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen je Kommune zeigt im Emissionskataster Luft für Westfalen ein verändertes Bild (LANUV 2016b). Hier werden für das Jahr 2015 Feuerungsanlagen aus Gewerbe, Haushalten etc. berücksichtigt, die nicht unter den Geltungsbereich der 4. BImSchV fallen. Während die urbanen Ballungsräume der Rhein-Ruhrschiene moderate PM<sub>10</sub>-Emissionen zwischen 75–220 kg/km<sup>2</sup> aufweisen, entfallen die Spitzenwerte (>220 kg/km<sup>2</sup>) auf den periurbanen Raum. Die höchsten Konzentrationen finden sich in den Gemeinden Moers (271 kg/km<sup>2</sup>), Siegen (299 kg/km<sup>2</sup>) und Siegburg (313 kg/km<sup>2</sup>).

Eine feinmaschigere Darstellung je Quadratkilometer sowie die Zugrundelegung von höherschwelligen Intervallen bestätigt den Eindruck höherer Feinstaubemissionen im periurbanen Raum (vgl. Abb. 14). Die höchsten Konzentrationen finden sich im Innenstadtbereich Siegens (1.342 kg/km<sup>2</sup>), Iserlohns (1.057 kg/km<sup>2</sup>) sowie in den Gemeinden Arnsberg (1.227 kg/km<sup>2</sup>), Attendorn (1.334 kg/km<sup>2</sup>) und Höxter (1.135 kg/km<sup>2</sup>).

## 6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die Luftqualität in Westfalen in den letzten Jahren weiter

verbessert hat. Der sich bereits in der vorausgehenden Analyse von 1980–2005 (BÜNS et al. 2007) deutlich abzeichnende rückläufige Trend setzt sich auch im darauffolgenden Jahrzehnt für die untersuchten Parameter Feinstaub und Stickoxide weiter fort, wenn auch in abgeschwächter Form: Der Rückgang für die untersuchten Messstationen in Westfalen betrug im Mittel -0,57 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>) bzw. -0,62 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>2,5</sub>) sowie -0,4 µg/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>) pro Jahr. Zudem wurde deutlich, dass die zulässigen EU-Feinstaubgrenzwerte an keiner Station in Westfalen mehr überschritten wurden und auch die Anzahl der Überschreitungstage mittlerweile deutlich unter den EU-Vorgaben liegt. Werden jedoch die Richtwerte der Weltgesundheitsorganisation WHO zugrunde gelegt, verfehlen die Messungen für PM<sub>10</sub> die Vorgaben teilweise und im Falle vom PM<sub>2,5</sub> deutlich.

Problematisiert wurde insbesondere in den urbanen Ballungsräumen die verkehrsbedingte Stickoxid-Belastung: Im Falle der Dortmunder Steinstraße überstieg die NO<sub>2</sub>-Belastung an verkehrsbelasteten Standorten über zehn Jahre lang den zulässigen Grenzwert. Damit setzt sich auch die Erkenntnis eines ausgeprägten Stadt-Land-Gefälles in dieser Untersuchung weiter fort: Treten erhöhte Feinstaub- und Stickoxidwerte überwiegend in den urbanen Ballungsräumen Westfalens durch erhöhtes Verkehrsaufkommen und die Dichte von Industrie- und Gewerbebetrieben auf, zählt im Falle von Ozon der länd-

lich geprägte Raum zu den stärker belasteten Gebieten. Bei der Ozonbelastung wurde zudem eine leichte Steigerung der Messwerte ( $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{Jahr}$ ) festgestellt, die unter Berücksichtigung der sommerlichen Rekordtemperaturen der Jahre 2018 und 2019 noch höher ausfallen dürfte.

Smog und hohe Schwefeldioxid-Werte, wie man sie noch vor drei Jahrzehnten in Westfalen kannte, gibt es heute nicht mehr. Erhöhtes Problembewusstsein, verschärfte Gesetzesgrundlagen auf EU- und Bundesebene als auch technische Maßnahmen wie Schadstofffilter haben im Verkehrswesen, in Industrie und Gewerbe sowie im privaten und öffentlichen Sektor in den vergangenen Jahrzehnten zu einer erheblichen Verbesserung der Luftqualität beigetragen.

Gleichwohl zeigen sowohl die Auswertungen der Messergebnisse als auch die jüngste politische

Debatte, dass sich das Problem der Luftverschmutzung nicht aufgelöst, sondern vielmehr verlagert hat: So weist Nordrhein-Westfalen den mit rund 72 % bundesweit höchsten Verstädterungsgrad auf. Wie oben gezeigt werden konnte, ist die Schadstoffbelastung für die Menschen in den urbanen Räumen Westfalens signifikant höher als im ländlichen Raum. Hier stellt sich zum einen die Frage, inwiefern ein Messnetz von lediglich 14 Stationen in der Lage ist, eine verlässliche Schätzung der räumlichen Schadstoffbelastung (Feinstaub, Stickoxide und Ozon) für die rund 8,3 Millionen Einwohner Westfalens zu gewährleisten. Zudem erscheint es zweifelhaft, inwiefern lokale



*Die Luftqualität in Westfalen folgt weiterhin einem positiven Trend, wenn auch in zunehmend abgeschwächter Form.*

Dieselfahrverbote im Umkreis von Messstationen mit Blick auf eine ganzheitliche städtische Luftreinhalteplanung in Westfalen zielführend sind. Vielmehr sollten Städte bei der Luftreinhalteplanung neben Arbeits- und Wohnort auch das regelmäßige Mobilitätsverhalten der Bürger und das Verkehrsaufkommen sowie die damit einhergehenden tagtäglichen Schadstoffexpositionen berücksichtigen und entsprechende Aufklärungsarbeit leisten.

Und wie steht es in Zukunft um die Luftqualität in Westfalen? Während die derzeitige Landesregierung von NRW Dieselfahrverbote als unverhältnismäßig und Dieselmotoren für die Autoindustrie als unzumutbar erachtet

und mit Blick auf Grenz- und Messwerte von einer „höchst unklaren Faktenlage“ spricht, wirft die Opposition ihr vor, das Ganze nur „auszusitzen, abzuwarten und auf gutes Wetter zu hoffen“ (DPA

2018). Wie die Analyse der Daten gezeigt hat, folgt die Entwicklung der Luftqualität in Westfalen weiterhin einem positiven Trend, wenn auch in zunehmend abgeschwächter Form. Zugleich konnte gezeigt werden, dass zwar die EU-Grenzwerte für Feinstaub an den Messstationen erfolgreich eingehalten werden konnten, aber weiterhin den Empfehlungen der WHO nachhinken. Mit Blick auf den globalen Klimawandel und die zuletzt extrem heißen Sommer in Westfalen stellt sich zudem die Frage, inwieweit Stickoxidgrenzwerte und die damit einhergehende Ozonbelastung wieder stärker in den Fokus der Luftreinhaltepolitik rücken sollten.

## 7. Literaturverzeichnis

- BÜNS, C.; FIEBIG, M.; JACOBS, S.; KLEMM, O.; PLAGEMANN, N.; SCHOLZ, M.; WAGENER, S.; WRZESINSKY, T. (2007): Begleittext zum Doppelblatt Lufthygiene aus dem Themenbereich IV Siedlung. Münster (= Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen).
- BREITINGER, M. (2018): Fahrverbote allein für den Messwert. Abrufbar unter: <https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-05/hamburg-diesel-fahr-verbot-sperrung-strassen-symbolpolitik> [02.01.2020].
- COSTA, S.; FERREIRA, J.; SILVEIRA, J.; COSTA, C.; LOPES, D.; RELVAS, H.; BORREGO, C.; ROEBELING, P.; MIRANDA, A.I.; TEIXERA, J.P. (2014): Integrating Health on Air Quality Assessment. Review Report on Health Risks of Two Major European Outdoor Air Pollutants: PM and NO<sub>2</sub>. In: *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews* 17 (6): 307–340.
- DELFINO, R.; SIOUTAS, C.; MALIK, S. (2005): Potential Role of Ultrafine Particles in Associations between Airborne Particle Mass and Cardiovascular Health. In: *Environmental Health Perspectives* 113 (8): 934–946.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PNEUMOLOGIE UND BEATMUNGSMEDIZIN E.V. (DGP) (2018): Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit. Positionspapier. Berlin.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2019a): Rückblick auf das Jahr 2018 – das bisher wärmste Jahr in Deutschland. Abrufbar unter: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102\\_waermstes\\_jahr\\_in\\_deutschland\\_2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2) [02.01.2020].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2019b): Hitzewelle Juli 2019 in Westeuropa – neuer nationaler Rekord in Deutschland. Abrufbar unter: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801\\_hitzerekord\\_juli2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801_hitzerekord_juli2019.pdf?__blob=publicationFile&v=3) [02.01.2020].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2020): Lungengängigkeit von Partikeln im menschlichen Atemtrakt und in der Lunge, Abscheidegrad > 50 %. Abrufbar unter: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku\\_beratung/gesundheitsluftquali/luftquali\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheitsluftquali/luftquali_node.html) [02.01.2020].
- DEUTSCHE PRESSE AGENTUR (DPA) (2018): Laschet hält Fahrverbote für rechtswidrig. Hitzige Diesel-Debatte im Landtag. Abrufbar unter: <https://www.ruhrnachrichten.de/nachrichten/hitzige-diesel-debatte-im-landtag-1268337.html> [02.01.2020].
- FRANZ, J. (2019): Borsigplatz-Viertel erstickt im LKW-Verkehr. In: *Ruhr Nachrichten*. Abrufbar unter: <https://www.ruhrnachrichten.de/dortmund/borsigplatz-viertel-erstickt-im-lastwagen-verkehr-plus-1375205.html> [02.01.2020].
- HARTMANN, G. (2016): Feinstaubgefahr durch Flughäfen. Abrufbar unter: <https://www.welt.de/regionales/nrw/article159255033/Feinstaubgefahr-durch-Flughafen.html> [02.01.2020].
- KREUZFELDT, M. (2019): Lungenarzt mit Rechenschwäche. Abrufbar unter: <https://taz.de/Falsche-Angaben-zu-Stickoxid/!5572843/> [02.01.2020].
- LAHL, U.; STEVEN, W. (2005): Feinstaub – eine gesundheitspolitische Herausforderung. In: *Serie: Auditorium maximum – Pneumatologie* 2005 (4): 704–714.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2006): Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen. Abrufbar unter: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/pdf/Waldzustand\\_2006.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/pdf/Waldzustand_2006.pdf) [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2012): Bericht über die Luftqualität im Jahre 2012 LANUV-Fachbericht 48. Recklinghausen. Abrufbar unter: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber\\_trend/Bericht\\_ueber\\_die\\_Luftqualitaet\\_im\\_Jahr\\_2012.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber_trend/Bericht_ueber_die_Luftqualitaet_im_Jahr_2012.pdf) (02.03.2020).
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2016a): Klimafolgenmonitoring. Klima und Atmosphäre. Temperatur. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/index.php?indikator=2&aufzu=1&mode=indi> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2016b): Online-Emissionskataster Luft NRW. Abrufbar unter: <http://www.ekl.nrw.de/ekat/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2016c): Emissionskataster Luft. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/emissionen/emissionskataster-luft/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2017): Bericht über die Luftqualität im Jahr 2016. Düsseldorf. Abrufbar unter: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber\\_trend/Bericht\\_ueber\\_die\\_Luftqualitaet\\_im\\_Jahr\\_2016.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber_trend/Bericht_ueber_die_Luftqualitaet_im_Jahr_2016.pdf) [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2018a): Luftqualitätspläne gemäß der EU-Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/luftreinhalteplanung-in-nrw/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2018b): Wirkungen von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/umweltmedizin/wirkungen-von-luftschadstoffen/schadstoffe/stickstoffdioxid-no2/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2018c): Messorte der Luftqualitätsüberwachung in NRW. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/messorte-und-werte/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2018d): Wirkungen von Ozon. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/umweltmedizin/wirkungen-von-luftschadstoffen/schadstoffe/ozon-o3/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2019): Jahreskenngrößen und Jahresberichte. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/berichte-und-trends/jahreskenngrößen-und-jahresberichte/> [02.01.2020].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (2020): Messstation Bottrop-Welheim. Abrufbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/messorte-und-werte/> [02.01.2020].
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MKULNV NRW) (2012): Gesundheitsschutz im Mittelpunkt. Die Luftreinhaltepläne in Nordrhein-Westfalen. Abrufbar unter: [http://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/broschue-re\\_luftreinhalteplaene\\_NRW.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/broschue-re_luftreinhalteplaene_NRW.pdf) [02.01.2020].
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MKULNV NRW) (2019): Minderungsmaßnahmen in Luftreinhalteplänen. Abrufbar unter: <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-gesundheit/luft/luftreinhalteplanung/minderungsmaßnahmen-in-luftreinhalteplänen/> [02.01.2020].

- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MULNV NRW) (2017): Bericht der Landesregierung zum Thema „Belastung durch Mikrofeinstaub am Flughafen Düsseldorf“ für den Ausschuss für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz am 6. September 2017. Abrufbar unter: <https://landtag.nrw.de/Dokumentenservice/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMV17-72.pdf;jsessionid=FAA837D07848F9628942153919FBA097.ifxworker> [02.01.2020].
- NEUBERGER, M. (2007): Umweltepidemiologie und Toxikologie von Nanopartikeln (Ultrafeinstaub) und Feinstaub. In: Gacsó, A.; Greßler, S.; Schiemer, F. (Hg.) (2007): Nano. Chancen und Risiken aktueller Technologien. Wien: 181–198.
- OBERDÖRSTER G. (2001): Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. In: International Archives of Occupational and Environmental Health 74 (1):1–8.
- RASCHE, M.; WALTHER, M.; SCHIFFNER, R.; KROEGEL, N.; RUPPRECHT, S.; SCHLATTMANN, P.; SCHULZE, C.; FRANZKE, P.; WITTE, O.; SCHWAB, M.; RAKERS, F. (2018): Rapid increases in nitrogen oxides are associated with acute myocardial infarction: A case-crossover study. In: European Journal of Preventive Cardiology 25(16): 1707–1716.
- SCHNABEL, U. (2019): Die Fachleute bleiben unsichtbar. Im Streit um die Stickoxid-Grenzwerte hat die Wissenschaft eine Niederlage erlitten. Daraus muss sie lernen. In: Die Zeit 7/2019. Abrufbar unter: <https://www.zeit.de/2019/07/stickoxid-grenzwerte-niederlage-wissenschaft-erkenntnisse-schadstoffe-gesundheit/komplettansicht> [02.01.2020].
- STADT BOCHUM (2019): Erfolgreiche Maßnahmen: Stickoxid-Belastung auf der Herner Straße gesunken. Abrufbar unter: <https://www.bochum.de/C125830C0038F229/CurrentBaseLink/W2BBHC-96408BOCMDE> [02.01.2020].
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2018): Beurteilung der Luftqualität in Deutschland: Ozonsituation. Sommer 2018. Dessau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2019): Stickstoffdioxid (NO<sub>x</sub>, gerechnet als NO<sub>2</sub>) -Emissionen nach Quellkategorien. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2\\_abb\\_stickstoffdioxid-emi\\_2019.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_stickstoffdioxid-emi_2019.pdf) [02.01.2020].
- VOGT, J. (2002): Luftbelastung. In: Brunotte, E.; Gebhardt, H.; Meurer, M.; Meusberger, P.; Nipper, J. (Hg.) (2002): Lexikon der Geographie. Zweiter Band. Gast bis Ökol. Berlin: 344.
- VOLLMERICH, O. (2018a): Umwelthilfe klagt gegen Dortmund. Forderung nach Dieselfahrverbot. Abrufbar unter: <https://www.ruhrnachrichten.de/dortmund/forderung-nach-dieselfahrverbot-1270897.html> [02.01.2020].
- VOLLMERICH, O. (2018b): Nach Klagen gegen Stickoxid-Belastung. Maßnahmenpaket gegen schlechte Luft kommt bis Juli. Abrufbar unter: <https://www.ruhrnachrichten.de/dortmund/web-artikel-1283692.html> [02.01.2020].
- WEINMAYR, G.; ROMEO, E.; DE SARIO, M.; WEILAND, S.; FORSTIERE, F. (2010): Short-Term Effects of PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> on Respiratory Health among Children with Asthma or Asthma-like Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: Environmental Health Perspectives 118 (4): 449–457.
- WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO) (2013): Review of Evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Technical Report. Kopenhagen.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen der Geographische Kommission für Westfalen stehen die Region Westfalen und ihre Teilregionen mit ihren typischen oder auch individuellen Eigenschaften, ihrer natur- und kulturräumlichen Vielfalt. Forschungsschwerpunkte sind Landesnatur, Ökologie und Umweltschutz, regenerative Energien, Siedlung, Kultur, Wirtschaft, Verkehr und Tourismus.

[www.geographische-kommission.lwl.org](http://www.geographische-kommission.lwl.org)

[www.facebook.com/geographische.kommission](https://www.facebook.com/geographische.kommission)

[www.westfalen-regional.de](http://www.westfalen-regional.de)

[www.webgis-westfalen.de](http://www.webgis-westfalen.de)

[www.instagram.com/lebeninwestfalen](https://www.instagram.com/lebeninwestfalen)