

Die EU-Kommission hat das Jahr 2013 zum Jahr der Luft erklärt, um damit auf die Bedeutung sauberer Luft aufmerksam zu machen und verschiedene bisherige und künftige Anstrengungen für saubere Luft in den Vordergrund zu stellen (vgl. BMBF 2013). Die Weltgesundheitsorganisation WHO fordert seit längerem strengere Regeln für die Bekämpfung der Luftverschmutzung in Europa. In Deutschland werden aber beispielsweise die zulässigen Grenzwerte für inhalierbaren Feinstaub (PM₁₀) von 0 µg/m³ pro Tag regelmäßig überschritten (mehr als 35 Tage im Jahr), und auch im gesamten Europa betragen die zulässigen Werte verschiedener Schadstoffe oft mehr als das Doppelte der von der WHO empfohlenen Standards, was jährlich zu mehr als 350 000 Todesfällen in der EU führt (vgl. Euractiv 2013). Zum Ende des Jahres werden daher Neuerungen in der europäischen Gesetzgebung erwartet, da saubere Luft nicht nur lebenswichtig für Menschen, sondern auch für die Umwelt ist und zudem eine wichtige Rolle bezüglich des Klimawandels spielt.

Welche Schadstoffe belasten die Umwelt?

Ein starker Anstieg an Luftschadstoffen war in Europa schon seit Beginn der industriellen Revolution zu beobachten, vor allem zählt dazu das Schwefeldioxid aus der Zink- und Kohleherstellung (vgl. Communities in Change 2002). Aber auch bereits vor der Industrialisierung wurde die Luft vielerorts durch die Metallverarbeitung verschmutzt. Zu den wichtigsten Schadstoffen in der Luft zählen Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH₃), Ozon (O₃), Stickoxide (abgekürzt als NO_x) sowie Feinstaub und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC). Sie alle entstehen größtenteils durch menschliche Aktivitäten in Städten, in der Industrie und Landwirtschaft sowie im Verkehr und wirken sich sowohl auf die menschliche Gesundheit als auch auf die Umwelt aus.

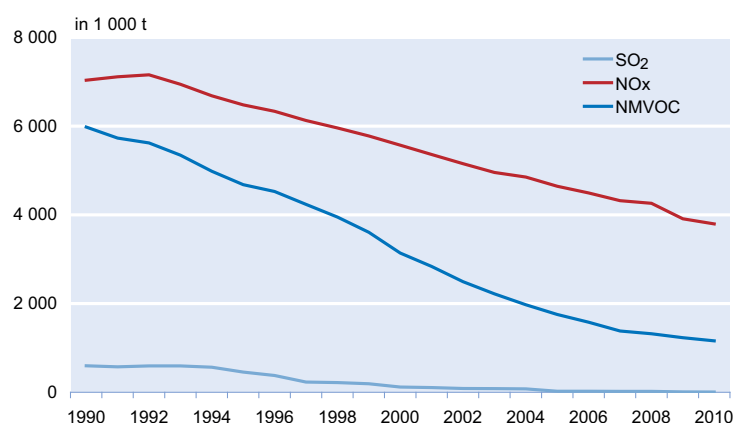
Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid sind Produkte der Verbrennung von Kohle und Heizöl sowie von Kraftfahrzeugen, wobei bei Kohlenmonoxid das Fehlen von Sauerstoff eine große Rolle bei der Entstehung spielt. Schwefeldioxid führte bereits während der Industrialisierung zur Entstehung von saurem Regen und besonders in den 1980er Jahren zu dem lange in der öffentlichen Wahrnehmung vorhandenen Waldsterben (vgl. Umweltbundesamt 2013). Zudem löst es Atemwegserkrankungen aus. Ähnliches gilt für das Kohlenmonoxid, das vor allem in Gebäuden als gefährliches Atemgift gilt. Durch massive Anstrengungen konnten die SO₂-Emissionen seit 1990 erfolgreich gesenkt werden (vgl. Abb. 1). Während Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid vor allem durch Verbrennungsprozesse verursacht werden, ent-

steht Ammoniak hauptsächlich in der Landwirtschaft durch den Abbau von Düngemitteln, der Lagerung von Gülle sowie der Fütterungsmaßnahmen. Aufgrund seines stark reaktiven Charakters geht der Stoff schnell in die Atmosphäre, den Boden und Wasser über und ist neben der Eutrophierung von Gewässern für die Bildung von Feinstaub mitverantwortlich (vgl. Umweltbundesamt 2013).

Ozon entsteht in der höheren Atmosphäre aus der Reaktion von Sauerstoff und der UV-Strahlung, in Erdnähe entsteht es dagegen zusätzlich zur UV-Strahlung hauptsächlich aus der Reaktion des Sauerstoffs mit Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (vgl. Umweltbundesamt 2013) und ist besonders in den Sommermonaten für den städtischen Smog verantwortlich. Durch erhöhte Konzentrationen in Bodennähe kommt es dadurch häufig zur Reizung der Atemwege, Asthma und Kopfschmerzen. Zudem beeinträchtigt Ozon auch das Pflanzenwachstum. Durch das nationale Programm zur Ozonminderung, in dem die Reduktion von Vorläufersubstanzen vorangetrieben wurde, konnten die Ozonwerte bereits deutlich gesenkt werden (vgl. Umweltbundesamt 2013). Das langfristige Ziel, den Wert auf 120 µg/m³ als Acht-Stunden-Mittelwert (an mindestens 25 Tagen pro Jahr) zu senken, konnte bisher allerdings noch nicht flächendeckend realisiert werden. Zielführend ist hierbei die weitere Senkung der Substanzen, die zur Ozonbildung beitragen. Global wurden schärfere Richtlinien durch die WHO festgelegt, wonach der Ozonwert langfristig auf 100 µg/m³ gesenkt werden soll (vgl. WHO 2006).

Zu den wichtigsten für den Menschen gefährlichen Stickoxiden zählen NO₂ (Stickstoffdioxid) und NO (Stickstoffmonoxid), wobei die Gefahr bei NO hauptsächlich darin besteht, dass es als Vorläuferstoff von Ozon dienen kann. Insofern könnten durch sinkende NO-Emissionen auch die Ozonwerte dauerhaft gesenkt werden. Stickstoffdioxid dagegen schä-

Abb. 1
Schadstoff-Emissionen im Straßenverkehr in der EU 27



Anmerkung: Die Kohlenmonoxid-Emissionen (CO) nahmen im gleichen Zeitraum um 80% ab.
Quelle: UNFCCC (2013).

digd direkt die Atemwege, kann zu Herz- und Kreislauferkrankungen führen und schädigt zudem die Umwelt durch Bodenversauerung und die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums (vgl. Umweltbundesamt 2013). Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid NO_2 werden von der WHO und der EU mit $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel angegeben.

Zu den aktuell wichtigsten und am häufigsten diskutierten Schadstoffen zählen neben dem Ozon und NO_x verschiedene Arten von Feinstaub. Unter Feinstaub werden im Allgemeinen Partikel verstanden, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind und über eine bestimmte Zeit in der Luft verbleiben. Eingeteilt werden die Partikel nach ihrer Größe. So gibt es den Gesamtschwebstaub mit einem Durchmesser von bis zu $15\text{--}30\mu\text{m}$, den inhalierbaren Schwebstaub ($< 10\mu\text{m}$, PM_{10}), den lungengängigen Schwebstaub ($< 2,5\mu\text{m}$, $\text{PM}_{2,5}$) sowie ultrafeine Partikel unter $0,1\mu\text{m}$ (vgl. Umweltbundesamt (2009), die bis in die Blutbahn vordringen können. Natürliche Quellen hierbei sind u.a. Vulkanismus, Meere, Wüsten, Bodenerosion und Waldbrände. Anthropogen werden die Stäube durch den Verkehr, Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen verursacht, jedoch auch durch veraltete Öfen, Industrieprozesse, Schüttgutumschläge und Ammoniak aus der Landwirtschaft. Aufgebaut werden sie neben Ammoniak vor allem aus Stickoxiden, Schwefeldioxid und flüchtigen Substanzen, aber auch aus Metallpartikeln (vgl. Umweltbundesamt 2013). In den Entwicklungsländern spielt zudem die Luftverschmutzung in Innenräumen, die durch das Kochen mit offenem Feuer ausgelöst wird, eine Rolle. Im Bereich des Verkehrs liegt die Hauptquelle bei Dieselfahrzeugen, aber auch beim Brems- und Reifenabrieb sowie dem Straßenbelag (vgl. Umweltbundesamt (2009). Laut WHO (2011) beeinträchtigt Feinstaub die menschliche Gesundheit mehr als jeder andere Luftschadstoff. Die Belastung kann zu Herz- und Kreislauferkrankungen und Lungenkrebs führen, dabei spielt vor allem die Partikelgröße eine wichtige Rolle. Weiterhin ist das Gesundheitsrisiko größer, wenn sich Schwermetalle und krebserregende Stoffe den Partikeln anlagern (vgl. Umweltbundesamt (2013). In neueren Studien wurde zudem nachgewiesen, dass die Feinstaubbelastung das Diabetesrisiko bei Kindern erhöhen kann (vgl. Thiering et al. 2013). In Städten mit hohen Verschmutzungspegeln übersteigt die Sterblichkeitsrate jene in weniger belasteten Städten um $15\text{--}20\%$ (vgl. WHO 2011). In der Karte (vgl. Abb. 2) ist neben der Bevölkerungszahl die prozentual von Feinstaub belastete Bevölkerung in europäischen Städten im Jahr 2005 dargestellt. Sichtbar aus den im Datensatz vorhandenen Städten wird hierbei, dass vor allem die norditalienischen Städte Mailand, Venedig und Turin stark von Feinstaubbelastungen betroffen sind. Die Werte resultieren hauptsächlich aus der aufgrund hoher Industrialisierung verursachten Feinstaubbelastung aus der Poebene und den dortigen meteorologischen Bedingungen (vgl. Ferraro et al.). Auch

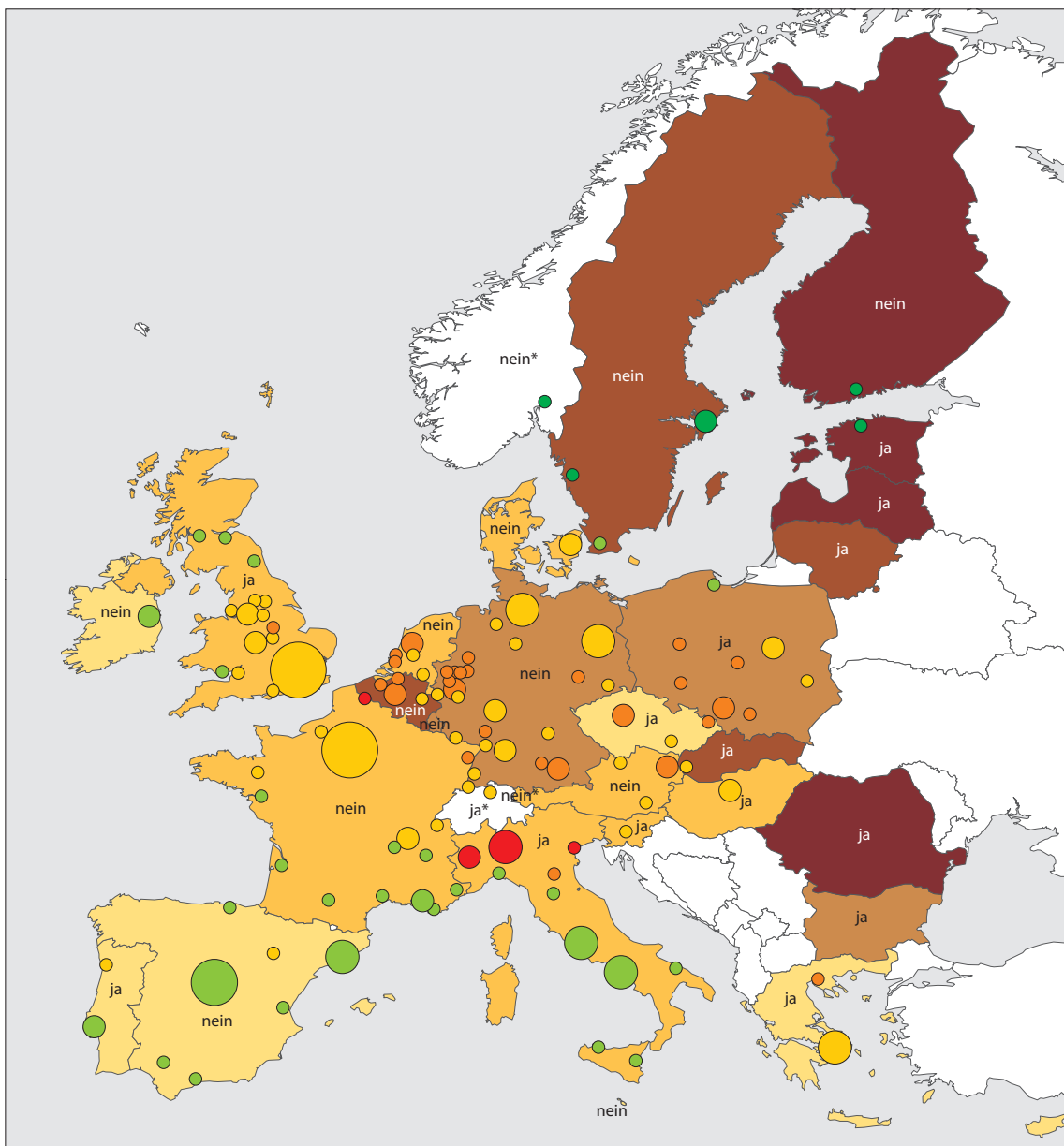
in Deutschland liegt vielerorts eine relativ hohe Belastung der Bevölkerung mit mehr als $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr vor. In den meisten südeuropäischen Städten fiel die Belastung dagegen relativ niedrig aus. In Deutschland ist seit dem Jahr 2000 ein langsamer Abwärtstrend in der Feinstaubbelastung zu beobachten. Europaweit liegen die jährlichen Grenzwerte für Feinstaub bei $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ für $\text{PM}_{2,5}$. Dies wird von der WHO, die hierfür Werte von $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgibt, zunehmend bemängelt, da durch verschiedene Studien belegt wurde, dass die Belastungen langfristig bereits unter diesen Grenzen zu erheblichen Schäden führen können. Die von der WHO vorgegebenen Werte für PM_{10} liegen im Jahresmittel bei $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EU: 40) (vgl. Euractiv 2013).

Gegenmaßnahmen

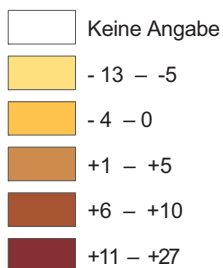
In Europa und Deutschland bewegen sich die NO_x -Emissionen weiterhin auf einem hohen Niveau und zeigen trotz bisheriger Bemühungen nur einen geringen Rückgang (vgl. EEA 2012a), was vor allem auf die unerwartet starke Zunahme des Verkehrs zurückzuführen ist. Der Straßenverkehr ist in Europa für rund 40% der NO_x -Emissionen verantwortlich, vor allem Dieselfahrzeuge stoßen große Mengen NO_2 aus. Obwohl die NO_x -Emissionen und die Emissionen von SO_2 und NMVOC seit 1990 kontinuierlich gesunken sind (vgl. Abb. 1), konnten die von der EU auferlegten Ziele im Rahmen der National Emission Ceilings Directive (2001), die ab 2010 Jahresemissionshöchstgrenzen für die Schadstoffe SO_2 , NO_x , NH_3 und volatile Verbindungen festlegt, im Bereich NO_x bis 2010 in vielen Ländern nicht erreicht werden (vgl. Abb. 2). Hierfür besteht seit 2008 mit der neuen Luftqualitätsrichtlinie der EU (2008) die Möglichkeit der Fristverlängerung, bei der es möglich wird, die festgelegten Höchstgrenzen in weiteren fünf Jahren, d.h. bis Januar 2015, einzuhalten (vgl. EEA 2012b). Zur Erreichung dieser Ziele dient in Deutschland zusätzlich der Luftreinhalteplan bzw. der Luftqualitätsplan (EU), der unterschiedliche Maßnahmen und Analysen bündelt mit denen die Luftqualität in den Regionen oder Städten verbessern soll. Zudem dient er als Voraussetzung für die oben beschriebene Fristverlängerung. Im Hinblick auf derzeitige Immissionsprognosen ist die Erreichung der NO_2 -Grenzwerte bis 2015 in Deutschland und anderen Ländern jedoch aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens bereits zum jetzigen Zeitpunkt unwahrscheinlich (vgl. Umweltbundesamt 2011).

Maßnahmen zur Minderung von Feinstaub liegen vor allem im Bereich der Minderung von Ammoniak- und NO_x -Emissionen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, der Verstärkung des öffentlichen Nahverkehrs und dem Nachrüsten mit Partikelfiltern für Dieselfahrzeuge. Durch die Einführung der Euro-Norm mit Abgasgrenzwerten für Fahrzeuge mit Otto- und Dieselmotor im Vier- bis Fünfjahresrhyth-

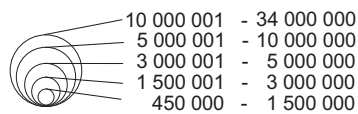
Abb. 2
Feinstaubbelastung in Städten und NO_x-Emissionen



Änderung der NO_x-Emissionen 2009-2010 (%)



Einwohnerzahl



EU NO_x-Grenzwerte 2010 eingehalten?

ja/nein

*) Norwegen, Schweiz und Liechtenstein unterliegen der Gesetzgebung unter dem Göteborg-Protokoll

Anteil der Bevölkerung, der durch Feinstaub (PM_{2,5} > 10µg/m³) belastet wird (%) (2005)



Quellen: OECD (2012); EEA – Air pollutant emissions data viewer (2013); EEA (2012) NEC directive status report 2011.

mus konnte der Ausstoß von Feinstaub (neben CO und NO_x) damit seit 1992 bereits erheblich gesenkt werden, wobei der Rückgang auch hier geringer ausfiel als erwartet (vgl. BMU 2010). Ab 2014 gilt der neue Euro-6-Standard für PKW, für neu zugelassene LKW ist er bereits seit diesem Jahr verpflichtend. Um der Feinstaubbelastung entgegenzutreten, werden zudem mit dem Inkrafttreten verschiedener EU-Richtlinien seit Ende der 1990er Jahre Umweltzonen in verschiedenen europäischen Städten eingeführt. Seit 2008 existieren die Umweltzonen auch in Deutschland und wurden auf der Grundlage der 35. Bundesimmissionsschutzverordnung (BlmschV) zunächst in Berlin, Köln und Hannover eingerichtet, um damit das Ein- und Ausfahren in die Innenstädte durch Fahrzeuge ohne Plakette zu unterbinden (vgl. Umwelt-Plakette 2013). Derzeit besteht Uneinigkeit darüber, ob die Umweltzonen ihren Zweck erfüllen, da die Feinstaubemissionen sowie insbesondere die NO_x-Belastung in einigen deutschen Städten bisher nur gering abgenommen haben (vgl. Handelsblatt 2012). Die Wirksamkeit dieser Zonen hängt im Wesentlichen von konsequenten Kontrollen der Einhaltung der Fahrverbote sowie von der Erweiterung auf andere Schadstoffquellen ab. Aufgrund verschiedener Störfaktoren, wie witterungsbedingte Verhältnisse, sind die Wirkungen anhand von Messdaten meist nur schwer quantifizierbar und nur anhand langjähriger Emissionsmessungen möglich (vgl. Umweltbundesamt 2011).

Neben Umwelt- und Gesundheitsschäden haben einige Luftschadstoffe außerdem einen direkten bzw. indirekten Einfluss auf den Klimawandel. Schwarzer Kohlenstoff aus Verbrennungsprozessen (v.a. Dieselmotoren, aber auch Waldbrände) absorbiert das Sonnenlicht und begünstigt somit die Erwärmung der Atmosphäre (vgl. EEA 2012b). Andere Schadstoffe wie Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid und flüchtige organische Verbindungen wiederum dienen als Vorläufersubstanzen für CO₂ und Ozon, das in der Troposphäre, anders als in der Stratosphäre, ein sehr klimawirksames Gas ist (vgl. Deutscher Wetterdienst 2004).

Laut der EU-Kommission stellten rund die Hälfte der EU-Bürger eine Verschlechterung der Luftqualität innerhalb der letzten zehn Jahre fest (vgl. Flash Eurobarometer 2013). Im Hinblick auf die EU-Gesetzgebung zur Luftqualität ist festzuhalten, dass einige Standards in vielen Regionen und Städten bisher nur unzureichend umgesetzt wurden. Vor dem Hintergrund der von der WHO geforderten Grenzwerte für Luftschadstoffe soll die Luftpolitik zum Ende dieses Jahres durch neue Luftqualitätsrichtlinien, die über das Jahr 2020 hinausgehen, verschärft werden (vgl. EEA 2012b). Dies vor allem, da die Grenzwerte der EU für NO_x- und Feinstaubemissionen weiterhin zu hoch sind und bisher nicht flächendeckend eingedämmt werden konnten. Ein Schritt in die richtige Richtung ist dabei in der Eindämmung des Verkehrs und dem Ausbau der eMobilität zu sehen.

Literatur

BMF (2013), »Europäische Kommission erklärt 2013 zum Jahr der Luft«, online verfügbar unter: <http://www.kooperation-international.de/detail/info/kommission-erklart-2013-zum-jahr-der-luft.html>.

BMU (2010), »Neue EU-Luftqualitätsrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt«, online verfügbar unter: <http://www.bmu.de/bmu/presse-reden/pressemitteilungen/pm/artikel/neue-eu-luftqualitaetsrichtlinie-in-deutsches-recht-umgesetzt/>.

Communities in Change (2002), »Umweltprobleme in der industriellen Revolution«, online verfügbar unter: http://www.ghs-mh.de/comenius/projects/comm/mh_env1.htm.

Deutscher Wetterdienst (2004), »Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 100. Troposphärisches Ozon in den Tropen, Subtropen und der Südhemisphäre gestiegen«, online verfügbar unter: http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Forschung/FEHP/OZON/DL/OZON_BULLETTIN/2004/Ozonbulletin__100__0408__de__pdf.templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ozonbulletin_100_0408_de_pdf.pdf.

EEA (2012a), »Nitrogen Oxide Emissions still a Major Problem in Europe«, online verfügbar unter: <http://www.eea.europa.eu/highlights/nitrogen-oxide-emissions-still-a>.

EEA (2012b), »Review of the EU Air Policy«, online verfügbar unter: http://ec.europa.eu/environment/air/review_air_policy.htm.

Euractiv (2013), »WHO Air Pollution Review Prompts New EU Policy Premises«, online verfügbar unter: <http://www.euractiv.com/sustainability/urgestougher-eu-air-pollution-l-news-517503>.

Europäische Kommission (2013), »Attitudes of Europeans towards Air Quality. Flash Eurobarometer 360«, online verfügbar unter: http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_360_en.pdf.

Ferraio, M. E., A.M. Rossa, M. Sansone und A. de la Valle (2010), »Heterogeneity of Accumulation and Dispersion Conditions for PM10 in the Po Valley«, online verfügbar unter: http://www.harmo.org/Conferences/Proceedings/_Paris/publishedSections/H13-038-abst.pdf.

Handelsblatt (2012), »Streit um Umweltzonen geht weiter«, 16. Januar, online verfügbar unter: <http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/wirkung-oder-nicht-streit-um-umweltzonen-geht-weiter/6070938.html>.

Thiering, E., J. Cyrus, J. Kratzsch, C. Meisinger, B. Hoffmann, D. Berdel, A. von Berg, S. Koletzko, C.-P. Bauer und J. Heinrich (2013), »Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Insulin Resistance in Children: Results from the GINIplus and LISAPplus Birth Cohorts. Diabetologia«, online verfügbar unter: <http://www.diabetologia-journal.org/files/Thiering.pdf>.

Umweltbundesamt (2009), »Feinstaubbelastung in Deutschland«, online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3565.pdf>.

Umweltbundesamt (2011), »Schwerpunktthema Umweltzonen«, online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/umid/archiv/umid0411.pdf>.

Umweltbundesamt (2013), »Luft und Luftreinhaltung«, online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/index.htm>.

Umwelt-Plakette (2013), »Die Umwelt-Plakette/Feinstaubplakette – Umweltzonen und Schadstoffgruppen in Deutschland«, online verfügbar unter: <http://www.umwelt-plakette.de/feinstaubplakette%20umweltplakette.php?SID=34a3e9ec3f3a79d1e6f976da18657a01>.

WHO (2006), »WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide, Global Update 2005«, online verfügbar unter: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.

WHO (2011), »Air Quality and Health, Fact Sheet No. 313«, online verfügbar unter: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>.