

Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

Dr. Helmut Büringer, Dirk Schmidtmeier

Dr. rer. pol. Helmut Büringer ist Leiter des Referats „Umweltbeobachtung, Ökologie, Umweltökonomische Gesamtrechnungen“ im Statistischen Landesamt Baden-Württemberg.

Dipl.-Ingenieur (FH) Dirk Schmidtmeier ist Sachgebietsleiter im gleichen Referat.

Der Straßenverkehr hat hohe Relevanz für die Entstehung von Luftschadstoffen und klimarelevanten CO₂-Emissionen. Zwar wurde der Anstieg der gesamten jährlichen Fahrleistungen auf den Straßen im Land deutlich abgebremst, der steigende Trend ist aber noch nicht gebrochen. Und obwohl bei den Emissionen trotz der weiter gestiegenen Jahresfahrleistungen deutliche Erfolge bei der angestrebten Verringerung erzielt wurden, besteht sowohl bei den Schadstoff-Emissionen wie auch beim CO₂-Ausstoß noch erheblicher Minderungsbedarf, um die gültigen EU-Grenzwerte für die Belastung der Luft mit Feinstäuben und NO₂ oder die vorgegebene Reduzierung bei den straßenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen zu erreichen. Im vorliegenden Beitrag werden die kurz- und langfristigen Entwicklungen bei Fahrleistungen und Emissionen im Straßenverkehr in der Differenzierung nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten betrachtet.

klimarelevanten Treibhausgasemissionen wie auch bei der Suche nach geeigneten Maßnahmen zur Einhaltung der EU-Grenzwerte für die Schadstoffbelastung der Luft zunehmend im Fokus. In Baden-Württemberg hat der Straßenverkehr mit 28 % einen fast ebenso hohen Anteil an den jährlichen CO₂-Emissionen¹ wie der Sektor der Kraft- und Heizwerke für die allgemeine Versorgung. Bei den Luftschadstoffen NO₂ (Stickstoffdioxid) und Feinstaub (PM₁₀), die erhebliche Probleme bei der Einhaltung der aktuell gültigen EU-Grenzwerte bereiten, macht der Straßenverkehr bezogen auf NO_x (Stickstoffoxide) über 50 % und bei den Feinstäuben gut 20 % der jeweiligen gesamten jährlichen Emissionsfracht aus.

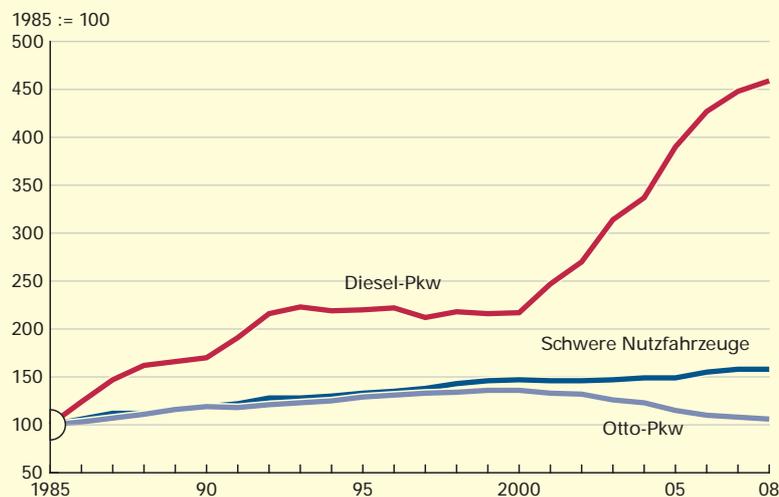
Bezogen auf den Jahresmittelwert sind im Durchschnitt rund 35 % (30 bis 50 %) der Feinstaub- und sogar mehr als 40 % (30 bis 65 %) der NO₂-Konzentrationen auf Emissionen des lokalen Straßenverkehrs zurückzuführen. Dies ist das Ergebnis von Untersuchungen zur Ursachenstruktur der gemessenen Schadstoffkonzentrationen im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalte-/Aktionsplänen, die auf den Messungen bei ausgewählten Messstellen mit besonders häufiger Überschreitung der Grenzwerte beruhen.² Weitere ebenfalls erhebliche Teile der an kritischen Messpunkten ermittelten Immissionswerte sind durch die städtische, aber auch großräumige Hintergrundbelastung der Luft zu erklären, für die ebenfalls der Straßenverkehr als mit maßgeblicher Verursacher identifiziert wird. Daher kommt bei der Betrachtung der Schadstoffemissionen nicht nur dem lokalen Straßenverkehr, sondern – wie bei den global klimawirksamen CO₂-Emissionen generell – auch der Entwicklung auf Landesebene hohe Bedeutung zu.

Relevanz des Straßenverkehrs für Luftreinhaltung und Klimaschutz

Die Entwicklungen im Straßenverkehr stehen bei den Bemühungen um die Verringerung der

- 1 CO₂ = Kohlenstoffdioxid.
- 2 Grundlagenband 2008 der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg).

S1 Jahresfahrleistungen in Baden-Württemberg seit 1985



Anstieg der Jahresfahrleistungen deutlich gebremst – aber noch keine Trendumkehr

Die straßenverkehrsbedingten Emissionen werden zunächst maßgeblich vom Verkehrsaufkommen, das heißt den mit Kfz auf den Straßen im Land zurückgelegten Fahrleistungen (Jahresfahrleistungen) bestimmt. Die Summe der mit Pkw, Lastkraftwagen, Bussen

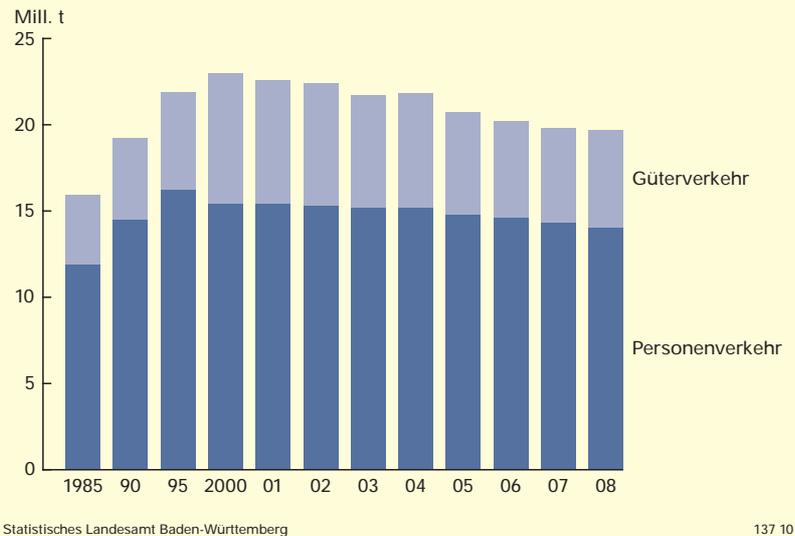
und Motorrädern auf Außer- und Innerortsstraßen im Land zurückgelegten Kilometer nimmt im langfristigen Trend nach wie vor zu (*Schaubild 1*). Zwar hat sich die jährliche Steigerungsrate in den letzten 10 Jahren deutlich abgeschwächt. Dennoch ist ungeachtet des gravierenden wirtschaftlichen Einbruchs in der zweiten Jahreshälfte 2008 über das gesamte Jahr 2008 betrachtet noch kein spürbarer Rückgang der Jahresfahrleistungen zu verzeichnen. Mit insgesamt 92,6 Mrd. Kilometern blieben die Jahresfahrleistungen 2008 nahezu konstant auf dem Niveau des konjunkturell herausragenden Vorjahres (92,7 Mrd. Kilometer). Gegenüber 1985 beträgt die Zunahme der Jahresfahrleistungen mehr als 50 %. Bezogen auf die letzten 10 Jahre lag der Anstieg nur noch bei rund 6 %. Dabei hat der Güterverkehr mit einem Plus von 17 % deutlich überdurchschnittlich zugenommen. Für den Personenverkehr errechnet sich nur ein unterdurchschnittliches Plus von 5 %. Nach 4-jähriger Stagnation von 2003 bis 2006 bewirkte erst das wirtschaftliche Hoch im Jahr 2007 wieder einen spürbaren Anstieg des Pkw-Verkehrs auf ein Niveau, das 2008 trotz der zwischenzeitlich außerordentlich stark angestiegenen Kraftstoffpreise nahezu gehalten wurde.

Für die Entwicklung der Emissionsfrachten an Klimagasen bzw. Luftschadstoffen ist außer den Jahresfahrleistungen auch das durchschnittliche Verbrauchs- und Emissionsverhalten der verschiedenen Kraftfahrzeuggruppen verantwortlich. Sowohl die Kraftstoffverbrauchswerte als auch der mittlere Schadstoffausstoß der betriebenen Fahrzeugflotte wurden in den zurückliegenden Jahren verringert. Dadurch gingen die Emissionen der hier betrachteten Stoffe trotz erhöhter Fahrleistungen, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß, zurück.

Seit 1999 rückläufige CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs

Die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs lagen im Jahr 2008 bei knapp 20 Mill. Tonnen (*Schaubild 2*). Dies entspricht rund 28 % der gesamten energieverbrauchsbedingten CO₂-Emissionen im Land. Der seit 1999 rückläufige Trend hat sich auch bedingt durch die zuletzt leicht rückläufigen Jahresfahrleistungen fortgesetzt. Dennoch liegen die Emissionen noch um rund 3 % über dem Niveau von 1990, dem Referenzjahr für die verschiedenen nationalen und internationalen Reduktionsziele. Bis 1999 waren die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg auf den bisherigen Rekordwert von 23,6 Mill. Tonnen angestiegen. Der seitherige Rückgang um über 16 % wurde

S2 CO₂-Emissionen in Baden-Württemberg 1985 bis 2008



hauptsächlich durch die Verringerung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der verschiedenen Kraftfahrzeuggruppen erreicht.

Die CO₂-Emissionen je Kilometer gingen bezogen auf die im Land realisierten Jahresfahrleistungen und die im Durchschnitt des Jahres jeweils betriebene Fahrzeugflotte in den zurückliegenden 10 Jahren bei den Diesel-Pkw um rund 20 % auf 155 g/km und bei den Otto-Pkw um 14 % auf 172 g/km zurück. Aber auch der bis 2007 deutlich erhöhte Anteil der als Reinkraftstoff oder als Beimischung zu den herkömmlichen Benzin- und Dieselmotoren eingesetzten Biokraftstoffe hat erheblich zum Rückgang der direkt straßenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen³ beigetragen. Im Jahr 2008 ist aber auch der Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch spürbar zurückgegangen. Dies hat eine stärkere Minderung der verkehrsbedingten Emissionen verhindert.

**NO_x-Emissionen:
2008 beschleunigter Rückgang**

Die NO_x-Emissionen⁴ des Straßenverkehrs sind 2008 auf knapp 73 000 Tonnen zurückgegangen (*Schaubild 3*). Das sind 50 % der gesamten jährlichen NO_x-Emissionen im Land. Die Abnahme gegenüber 2007 beträgt fast 6 % und wurde bei insgesamt nahezu unveränderten Jahresfahrleistungen allein durch die Verringerung der durchschnittlich je Kilometer entstehenden Emissionen erreicht. Der aktuelle Rückgang der NO_x-Emissionen fiel damit fast doppelt so stark aus wie im Durchschnitt der letzten 10 Jahre, für die sich insgesamt ein

3 Die bei der Herstellung der Biokraftstoffe verursachten CO₂-Emissionen werden nicht dem Straßenverkehr zugerechnet. Der Verbrauch als solcher ist emissionsneutral.

4 Den Berechnungen der NO_x und PM₁₀-Emissionen liegen spezifische Emissionsfaktoren zugrunde, die auf der Grundlage des Emissionshandbuchs, Version 2.1, Stand 2004 ermittelt sind.

Minus um rund 32 % errechnet. Seit Einführung des Katalysators für Pkw in der Mitte der 80er-Jahre beträgt der Rückgang insgesamt fast 60 %. Die über den Gesamtzeitraum mit im Durchschnitt 2,5 % pro Jahr deutlich geringere Minderungsrate erklärt sich in erster Linie dadurch, dass die niedrigeren spezifischen Emissionen je Kilometer lange Zeit durch Steigerungen der Jahresfahrleistungen teilweise kompensiert wurden.

Relativ wenig Minderung der NO_x-Emissionen bei Dieselfahrzeugen

Sowohl das Niveau als auch die zeitliche Entwicklung der spezifischen Emissionen je Kilometer differieren zwischen den verschiedenen Fahrzeugen und Antriebsarten sehr stark. Auf die Höhe der gesamten straßenverkehrsbedingten Emissionen hat deshalb auch die Verteilung der Jahresfahrleistungen auf die Fahrzeuggruppen, Lkw und Busse bzw. Pkw gravierenden Einfluss. Bei Letzteren spielt zusätzlich die Aufteilung nach Diesel- und Ottomotor-Pkw eine große Rolle.

Eine weitgehende Abnahme der spezifischen NO_x-Emissionen konnte bei den Ottomotor-Pkw erreicht werden. Seit Mitte der 80er-Jahre wurde durch die fortlaufende Verbesserung der Katalysator-Wirksamkeit und die entsprechende kontinuierliche Erneuerung der Otto-Pkw-Flotte der durchschnittliche NO_x-Ausstoß je Kilometer um den Faktor 15 verringert. Dabei waren bereits bis 1998 die NO_x-Emissionen der Otto-Pkw im Mittel auf weniger als ein Viertel des Wertes von 1985 verringert worden. Da-

nach fielen die jährlichen Minderungsraten zwar geringer aus, dennoch wurde bezogen auf den Zehnjahreszeitraum seit 1998 eine weitere Reduzierung des durchschnittlichen NO_x-Emissionsfaktors der Otto-Pkw-Flotte um mehr als 70 % erzielt.

Vergleichbare Fortschritte konnten bislang bei den Dieselmotor-Pkw nicht erreicht werden. Hier beträgt die Abnahme der durchschnittlichen Emissionen, die auch erst Ende der 90er-Jahre einsetzte, lediglich knapp ein Viertel (23,5 %).

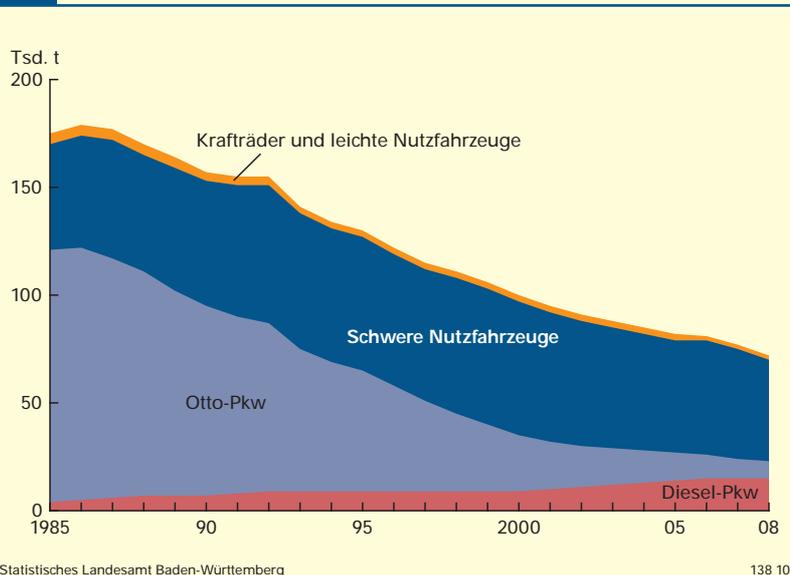
Ein ähnliches Bild zeigt der Verlauf bei den schweren Nutzfahrzeugen. Hier errechnet sich ein Rückgang der durchschnittlichen NO_x-Emissionen je Kilometer seit Ende der 90er-Jahre um gut ein Viertel. Allerdings war schon vor 1999 eine leichte Abnahme der spezifischen NO_x-Emissionen um 12 % gelungen. Für die Gesamtsituation entscheidend ist aber, dass die durchschnittlichen Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge auch aktuell noch beim 13-fachen Wert eines durchschnittlichen Diesel-Pkw liegen. Bei den gleichfalls überwiegend dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugen beträgt die Minderung der durchschnittlichen Emissionen, bezogen auf die Zeit nach 1998, rund 40 %.

Stark erhöhter Dieselanteil dämpft Rückgang der Emissionen

Die Gesamtfracht der straßenverkehrsbedingten NO_x-Emissionen ging in deutlich geringerem Ausmaß zurück, als die vor allem bei Otto-Pkw erreichte starke Minderung der spezifischen Emissionen erwarten ließ. Die Ursache dafür liegt weniger in der anhaltenden Zunahme der Jahresfahrleistungen insgesamt. Vielmehr haben der überdurchschnittlich zugenommene Lkw-Verkehr und in noch stärkerem Maße der seit Ende der 90er-Jahre außerordentlich stark erhöhte Anteil der Diesel-Pkw einen größeren Rückgang der NO_x-Emissionen verhindert. Die Zunahme des vergleichsweise emissionsträchtigen Lkw-Verkehrs beträgt 12 %, während der Pkw-Verkehr insgesamt nur um 5 % anwuchs. Und die Jahresfahrleistungen mit Diesel-Pkw in Baden-Württemberg haben sich in den zurückliegenden 8 Jahren weit mehr als verdoppelt. Ihr Anteil an den gesamten Jahresfahrleistungen stieg auf nahezu 40 %. Die Fahrleistungen mit Otto-Pkw gingen parallel dazu um mehr als 20 % zurück (Schaubild 1).

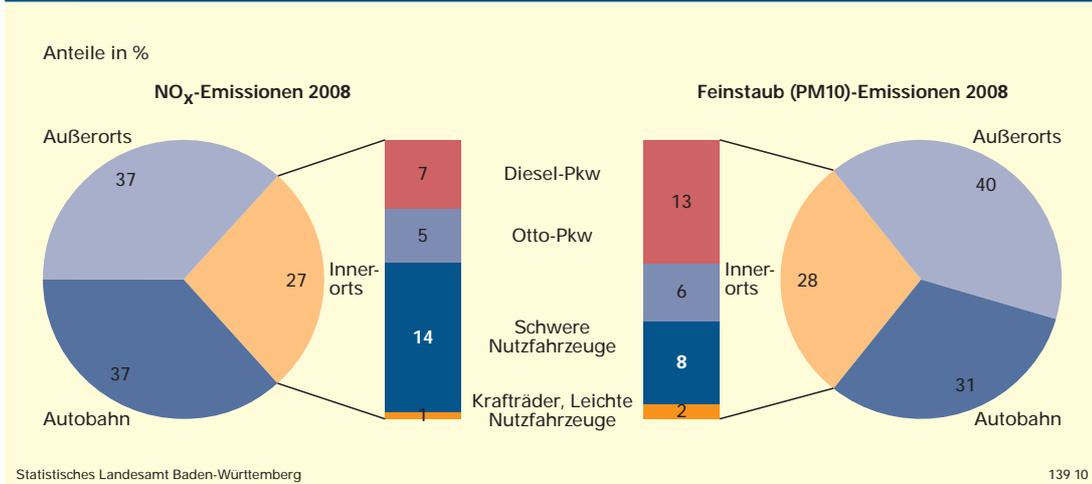
Durch die erheblich abweichende Entwicklung sowohl der spezifischen Emissionen als auch der Jahresfahrleistungen bei Otto- und Dieselmotor-Pkw einerseits sowie bei den Nutzfahr-

S3 NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg 1985 bis 2008



S4

NO_x- und Feinstaub (PM10)-Emissionen in Baden-Württemberg 2008 nach Straßenkategorie und Fahrzeugart



zeugen andererseits hat sich auch die Aufteilung der NO_x-Emissionen auf die genannten Fahrzeuggruppen stark verschoben. Aktuell verursachen schwere Lkw fast zwei Drittel der gesamten straßenverkehrsbedingten NO_x-Emissionen im Land. Allein auf Lkw mit Anhänger, darunter vor allem die Sattelfahrzeuge, konzentrieren sich bei nur 5 % der gesamten Jahresfahrleistungen fast 45 % der NO_x-Emissionen (Schaubild 3). Mit großem Abstand folgen die Pkw mit zusammen 30 % Emissionsanteil. Dabei machen Diesel-Pkw rund 20 % und Otto-Pkw lediglich gut 10 % der gesamten jährlichen NO_x-Emissionen im Straßenverkehr aus, während deren Anteile an den Jahresfahrleistungen (30 % Diesel- und 50 % Otto-Pkw) in nahezu umgekehrtem Verhältnis stehen.

Otto-Pkw auch innerorts bereits seit Langem stark rückläufig und machen aktuell nur noch 20 % der vom Straßenverkehr im Innerortsbereich verursachten NO_x-Emissionen aus. Kleinere Anteile entfallen auf leichte Nutzfahrzeuge (gut 2 %) und Krafträder (unter 1 %). In der Summe über alle Fahrzeuggruppen haben die NO_x-Emissionen auf Innerortsstraßen in den letzten 10 Jahren fast ebenso stark abgenommen wie im Straßenverkehr insgesamt.

... aber kaum weniger NO₂ infolge erhöhtem Dieselanteil

Diesem Trend sind die gemessenen NO₂-Immissionen dagegen kaum gefolgt; sie gingen nur unwesentlich zurück. Die Ursache dafür

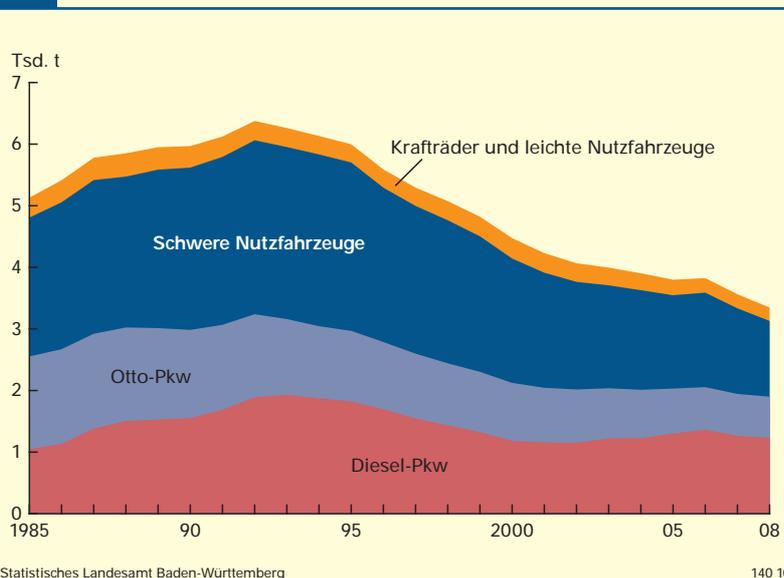
Auch innerorts weniger NO_x ...

Im innerörtlichen Straßenverkehr zeigt sich bezogen auf die NO_x-Emissionen eine teils abweichende Emittentenstruktur und Entwicklung. Mit rund 19 000 Tonnen entsteht gut ein Viertel (26,5 %) (Schaubild 4) der gesamten jährlichen Fracht auf Innerortsstraßen. Auch hierbei machen schwere Lkw und Busse mit über 50 % den größten Anteil der NO_x-Emissionen aus. Er liegt innerorts aber deutlich niedriger als bezogen auf den gesamten Straßenverkehr (65 %). Trotz Rückgang der jährlichen Fracht seit Anfang der 90er-Jahre hat der Anteil der Lkw leicht zugenommen.

Besonders stark angestiegen ist der Innerortsanteil der Diesel-Pkw, und zwar von gut 10 % im Jahr 1998 auf jetzt fast ein Viertel. Erst 2007 wurde die Zunahme der durch Diesel-Pkw verursachten innerörtlichen Emissionsfracht gestoppt. Dagegen sind NO_x-Emissionen durch

S5

Feinstaub (PM10)-Emissionen in Baden-Württemberg 1985 bis 2008



liegt zum einen im außerordentlich stark erhöhten Fahrleistungsanteil der Diesel-Pkw und zum anderen darin, dass der NO_2 -Anteil am gesamten NO_x -Austoß bei Dieselfahrzeugen erheblich höher liegt (bis zu 50 %) als bei Otto-Pkw (lediglich rund 5 %). Insbesondere bei den neueren mit Oxidationskatalysator ausgestatteten Dieselfahrzeugen, die die Abgasnorm Euro-3 und Euro-4 erfüllen, werden hohe NO_2 -Anteile gemessen. Diese Situation wird sich aus heutiger Sicht frühestens ab Herbst 2014 mit der dann vorgeschriebenen Euro-6-Norm ändern. Und auch dann nur entsprechend dem Fortgang der Erneuerung der Diesel-Pkw-Flotte, die sich bei einer derzeit durchschnittlichen Nutzungsdauer von mehr als 10 Jahren sicher über einen längeren Zeitraum hinziehen wird.

Feinstaubemissionen überwiegend durch Pkw-Verkehr

Die Feinstaubemissionen des Straßenverkehrs, die aktuell gut ein Fünftel der gesamten jährlichen PM_{10} -Emissionen⁵ ausmachen, sind 2008 gegenüber dem Vorjahr um 6 % zurückgegangen (Schaubild 5). Damit fiel der Rückgang wie bei den Stickoxiden doppelt so stark aus wie im Durchschnitt der zurückliegenden 10 Jahre. Innerorts sind die PM_{10} -Emissionen des Straßenverkehrs sogar noch etwas stärker zurückgegangen.

Im Unterschied zum NO_x werden die straßenverkehrsbedingten Feinstaub-Emissionen zu weit mehr als der Hälfte (57 %) durch den Pkw-Verkehr verursacht. Schwere Lkw und Busse machen zusammen 37 % aus. Vor 10 Jahren lag der Anteil der Lkw noch bei fast 50 %. Seither sind die Feinstaubemissionen je gefahrenem Kilometer bei den schweren Nutzfahrzeugen und Bussen im Durchschnitt um rund 53 % und die der Diesel-Pkw sogar um rund 60 % zurückgegangen. Allerdings haben sich die Jahresfahrleistungen mit Diesel-Pkw im selben Zeitraum deutlich mehr als verdoppelt. Die der schweren Lkw und Busse nahmen nur noch um 11 % zu.

PM_{10} : Innerorts 44 % durch Diesel-Pkw

Noch deutlicher hat sich die Emittentenstruktur bei den PM_{10} -Emissionen im Innerortsbereich

verschoben. Insgesamt wurden 2008 auf Innerortsstraßen im Land rund 950 Tonnen (28 % der PM_{10} -Emissionen) emittiert (Schaubild 4). Davon werden zwei Drittel vom Pkw-Verkehr verursacht. Nach Antriebsart gegliedert rangieren die Diesel-Pkw mit 44 % deutlich vor den schweren Nutzfahrzeugen und Bussen, während Otto-Pkw – bei mit Abstand höchstem Fahrleistungsanteil – vergleichsweise geringe 20 % ausmachen.

Trotz der stark reduzierten spezifischen Emissionen liegen die von Diesel-Pkw im Durchschnitt je Kilometer verursachten PM_{10} -Emissionen immer noch bei fast dem 3-fachen Wert eines durchschnittlichen Otto-Pkw. Der Hauptgrund: Während bei den Diesel-Pkw nach wie vor die abgasbedingten PM_{10} -Emissionen den Hauptanteil stellen, fallen bei den Otto-Pkw nur die Emissionen durch den Abrieb von Reifen und Bremsen ins Gewicht.⁶ Schwere Lkw und Busse machen im Innerortsbereich landesweit noch rund 30 % der PM_{10} -Emissionen aus. Neben der Minderung ihrer durchschnittlichen spezifischen Emissionen je Kilometer sind zusätzlich die Innerortsfahrleistungen der Lkw größer 3,5 Tonnen im Jahr 2008 unter das Niveau von 1998 gesunken. Im Gegensatz zu den Diesel-Pkw, bei denen die erzielte Minderung der spezifischen Emissionen durch den rasanten Anstieg der Jahresfahrleistungen zu einem Großteil kompensiert wurde.

Der rückläufige Trend sowohl bei den CO_2 -Emissionen als auch bei den Schadstoff-Emissionen des Straßenverkehrs muss in den nächsten Jahren deutlich verstärkt werden, sollen die auf EU-Ebene vorgegebenen Grenzwerte eingehalten und ein Rückgang der wirksamen Emissionen im vorgegebenen Umfang erreicht werden. Eine gewisse Beschleunigung in diese Richtung hat offenbar die im Jahr 2009 wirksame sogenannte Abwrackprämie mit sich gebracht. Sie hat die Erneuerung der Fahrzeugflotte offenbar spürbar beschleunigt und eine Tendenz hin zu verbrauchs- und damit CO_2 -ärmeren sowie besser schadstoffreduzierten Pkw bewirkt. ■

Weitere Auskünfte erteilen

Dr. Helmut Büringer, Telefon 0711/641-24 18,
Helmut.Bueringer@stala.bwl.de
Dirk Schmidtmeier, Telefon 0711/641-27 22,
Dirk.Schmidtmeier@stala.bwl.de

5 Vgl. Fußnote 4.

6 Die durch Straßenverkehr generell verursachten Aufwirbelungen von Feinstäuben, die einen erheblichen Teil der Immissionsbelastung verursachen sind bei der hier angestellten Emissionsbetrachtung ausgeklammert.