

Der Einfluss des Dieselmotors auf die Luftqualität

Influence of Diesel Engines on the Air Quality

Von D. NOTHEIS, O. TOEDTER und T. KOCH*

Abstract

In a range of applications the diesel engine is indispensable. Concerning of its emissions, the diesel engine is critically discussed in public. With new aftertreatment technologies the emissions could be significantly reduced. Also, stronger emissions standards with more realistic tests will in future reduce the emissions on the road. Looking at the modern diesel technology a lot of emissions like the unburned hydrocarbons, carbon monoxide and sulphur oxide are no longer relevant. In the future, with the exhaust after treatment nitrogen oxides and particle emissions could be reduced significantly. A view at the air quality development in Germany shows a strong reduction of these emissions in the last years. Predictions demonstrate further decrease of immissions.

Kurzfassung

Der Dieselmotor ist in vielen Anwendungsbereichen unverzichtbar, kommt aber durch seine Emissionen immer wieder in Kritik. Mit moderner Abgasnachbehandlung können aber inzwischen die Stickoxid-Emissionen und die Partikelemissionen deutlich reduziert werden. Ein Blick auf die Immissionsbelastung der vom Dieselmotor verursachten Emissionen zeigt bereits, dass hier eine deutlichere Verbesserung stattgefunden hat.

1 Motivation

Fahrzeuge mit Dieselmotor sind in der öffentlichen Wahrnehmung als umweltbelastend verpönt. Der »VW-Abgaskandal« hat dabei das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Automobilindustrie und der Dieselmotor verletz. Zusätzlich werden Maßnahmenkataloge für das potenzielle Verbot von Euro-5-Dieselfahrzeugen in Stuttgart beschlossen [1].

Dabei besitzt der Dieselmotor in vielen Anwendung deutliche Vorteile gegenüber anderen Antrieben. Ein Vorteil gegenüber dem

Benzinmotor ist der geringere Kraftstoffverbrauch. Somit ist er ein wichtiges Bauteil zur Erfüllung der CO₂-Ziele. Für Nutzfahrzeuge und somit den Binnen-Gütertransport ist er aufgrund der hohen Energiedichte nicht zu ersetzen. Auch für viele Offroad-Anwendungen und Notstromaggregate ist der Diesel unverzichtbar. Zudem wird am Dieselmotor stetig weiterentwickelt und viele neue Technologien zur Schadstoffreduktion sind bereits in Serie.

Im folgenden Artikel wird der Einfluss der vom Dieselmotor emittierten Schadstoffe untersucht. Des Weiteren werden die Technologien zur Emissionsreduktion und die Immissionsbelastung in Deutschland mit einem besonderen Blick auf Baden-Württemberg betrachtet. Abschließend werden Prognosen von Umweltämtern zur heutigen und zukünftigen Immissionsbelastung vorgestellt.

2 Emissionen und Immissionen

Bei einem Dieselmotor wird chemische Energie in Form des Kraftstoffes verbrannt und über das Triebwerk in mechanische Energie umgewandelt. Bei der chemischen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen ist das gewünschte Ergebnis die exotherme Umwandlung in Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die entstehenden Emissionen dieser Stoffe hängen somit direkt vom Kraftstoffverbrauch ab. Bei einem Liter Diesel-Kraftstoff wird dabei circa 2 kg CO₂ produziert. Dabei wird je nach Betriebspunkt 12–20 m³ Frischluft angesaugt und umgesetzt. Zusätzlich entstehen bei einer realen Verbrennung ungewollte Nebenprodukte, welche als Schadstoffe deklariert sind. Der Anteil der Schadstoffe im Abgas liegt im Bereich von 0,1 %. Emissionen wie unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Kohlemonoxid und Schwefeloxid sind wegen der eingesetzten Oxidationskatalysatoren bei einem Dieselmotor seit längerem nicht mehr relevant. Daher wird im Folgenden nur auf Partikelemissionen und Stickoxidemissionen weiter eingegangen.

2.1 Partikelemissionen

Partikelemissionen erfahren in der Öffentlichkeit eine große Aufmerksamkeit. Unter die Immissionsgesetzgebung fallen die so-

genannten PM₁₀-Partikel. PM₁₀-Partikel sind Partikel kleiner als 10 µm. Partikelemissionen sind vom Menschen wahrnehmbar und wirken in entsprechender Konzentration toxisch auf den menschlichen Organismus. Als motorische Partikelemission wird die Verbindung von Kohlenstoffatomen zum Ruß verstanden. Der Ruß entsteht im Brennraum in Zonen, in denen Luftmangel herrscht und somit nicht ausreichend Sauerstoff zur Oxidation vorhanden ist. Abbildung 1 zeigt die Anteile der am Beispiel der Umweltmessstation am Stuttgarter Neckartor bestimmten Quellen. Der innermotorische Anteil an den Partikelemissionen liegt dabei bei ungefähr 8 % der anthropogenen Gesamtbelastung und ist damit eine geringe Quelle. Ein wesentlicher Teil dieses Anteils resultiert aus zahlreichen Altfahrzeugen, die noch nicht mit einem Partikelfilter ausgestattet sind. Bei modernen Dieselfahrzeugen ab Emissionsstufe Euro 5 ist ein Partikelfilter serienmäßig eingebaut. Die daraus resultierenden Partikelemissionen dieser Fahrzeuge liegen unter dem Niveau der Umgebung. Innermotorische Partikelemissionen haben bei modernen Dieselmotoren keine Relevanz mehr. Zusätzlich werden auch angesaugte Partikelemissionen der Umgebung durch den Partikelfilter abgetrennt. Durch den fortlaufenden Austausch von Altfahrzeugen zu Neufahrzeugen werden die innermotorisch verursachten Partikelemissionen in naher Zukunft nicht mehr relevant sein.

2.2 Stickoxide, sogenannte NO_x-Emissionen

Stickoxidemissionen bestehen aus bis zu neun unterschiedlichen gasförmigen Stickoxidverbindungen. Dabei entstehen bei der motorischen Verbrennung vor allem die Stickstoffmonoxide (NO). Diese entstehen in Bereichen mit hohen Temperaturen (T > 2000 K) und einem geringen Luftüberschuss. Stickstoffmonoxid ist unter Umgebungsbedingungen nicht stabil und reagiert mit dem in der Luft befindlichen Sauerstoff zu Stickstoffdioxid (NO₂). Da zudem Stickstoffmonoxid ein körpereigener Stoff mit Aufgaben für die Blutversorgung der Organe ist, ist vor allem nur Stickstoffdioxid in der Immissionsbetrachtung relevant. Stickstoffdioxidemissionen sind für den Menschen wahrnehmbar und riechen chlor-

* Denis Notheis (M.Sc), Dr.-Ing. Olaf Toedter, Prof. Dr. sc. techn. Thomas Koch, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe (E-mail: Denis.Notheis@kit.edu)

0179-3187/17/5 DOI 10.19225/170501
© 2017 EID Energie Informationsdienst GmbH

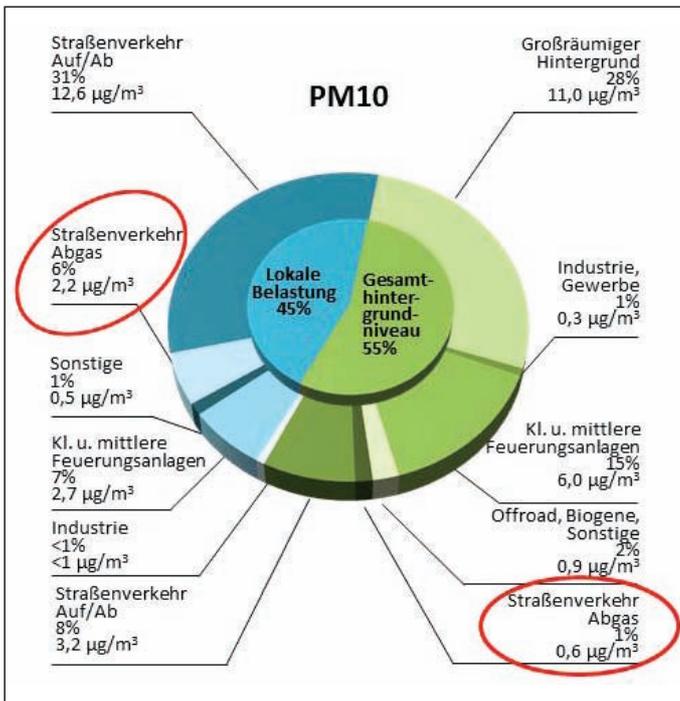


Abb. 1 Anteil der motorischen Abgase an der Partikelbelastung in Stuttgart – Umweltmessstation Stuttgart Neckartor [2]

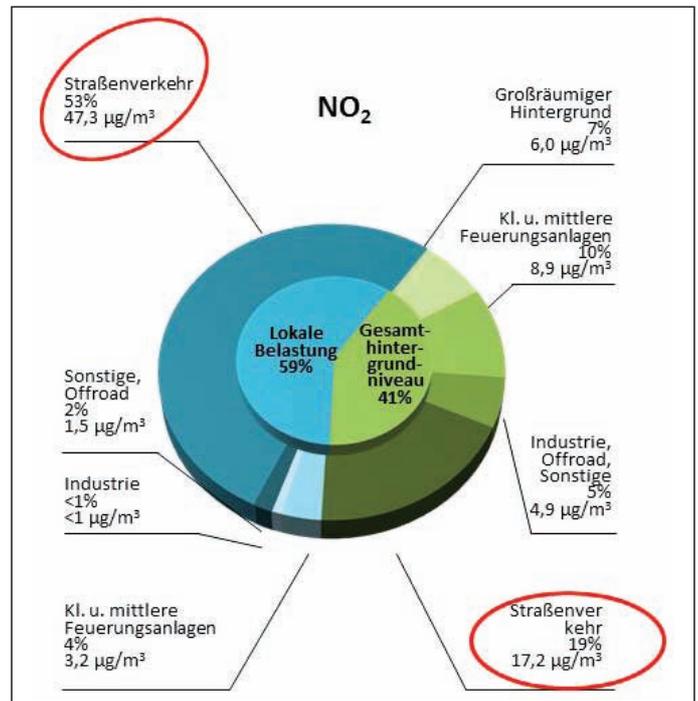


Abb. 2 Anteil der motorischen Abgase an der Stickoxidbelastung in Stuttgart – Umweltmessstation Stuttgart Neckartor [2]

artig und unangenehm reizend. Zusammen mit dem in der Atmosphäre befindlichen Wasser bildet Stickstoffdioxid auch Salpetersäure aus, welche beispielsweise in den 80er Jahren durch zu hohe Konzentrationen zu saurem Regen führte. Zusätzlich wird durch Stickstoffdioxid und der Sonnenenergie bodennahes Ozon gebildet. Ab bestimmten Konzentrationen führt Ozon zur Reizung der Atemwege.

Der Anteil an durch den Verbrennungsmotor verursachten Stickoxidemissionen ist deutlich sichtbar. In Abbildung 2 sind die Quellen der Stickoxidemissionen am Beispiel des Stuttgarter Neckartores aufgezeigt. Der Anteil der durch den Motor emittierten Stickoxidemissionen liegt dabei bei circa 70 %. Davon ist der Anteil des Dieselmotors zum heutigen Zeitpunkt überwiegend.

nen und wenig Ruß oder viel Ruß und wenig Stickoxidemissionen. Dies wird als »Ruß-NO_x-Schere« bezeichnet. Innermotorische Maßnahmen bewegen sich immer entlang diesem sogenannten Trade-Off und dienen somit als Basis für die nachfolgenden Abgasnachbehandlungen. Eine Maßnahme, die zur Erfüllung der Abgasstufe Euro 5 eingeführt wurde, ist die Abgasrückführung (AGR). Dabei wird ein Teil des Abgases zur Ansaugluft zurückgeführt. Durch das zusätzliche Inertgas und die höheren Wärmekapazitäten des Abgases werden die Spitzentemperaturen im Verbrennungsmotor gesenkt. Stickoxide werden, wie bereits erwähnt, nur bei hohen Temperaturen gebildet. Die Absenkungen der Temperatur durch die Abgasrückführung bewirkt damit eine deutliche Reduktion der Stickoxidemissionen.

Möglichkeit, bei der die Temperatur im Partikelfilter angehoben wird und somit ein Abbrand der Rußschicht gestartet wird. Hierbei ist zu beachten, dass die nachfolgenden Komponenten der Abgasnachbehandlung nicht überhitzt werden. Durch den Einsatz eines Partikelfilters können die Partikelemissionen deutlich reduziert werden. Zusätzlich würden auch die angesaugten Partikelemissionen in der Umgebung reduziert werden. Beispielsweise ist in Abbildung 3 der Ausscheidungsgrad mit und ohne Partikelfilter zu sehen. Die Ergebnisse mit Partikelfilter liegen unter dem Bereich des Umgebungszustandes der Stadt. Der Wirkungsgrad des Partikelfilters ist unabhängig vom Kennfeld des Motors und der Applikation

3 Technologien zur Emissionsreduktion

Grundsätzlich gibt es zwei Arten zur Reduktion der Emissionen an einem Fahrzeug. Zum einen können die Emissionen durch innermotorische Maßnahmen oder zum anderen durch eine Abgasnachbehandlung reduziert werden. Beide Technologien sind zum heutigen Zeitpunkt ausgereift oder befinden sich in den letzten Entwicklungsstufen. In den neueren Dieselfahrzeugen sind diese Maßnahmen bereits zum Großteil umgesetzt.

3.1 Innermotorische Maßnahmen zur Emissionsreduktion

Bedingt durch die Art der dieselmotorischen Verbrennung sind die innermotorischen Maßnahmen beim Dieselmotor immer ein Trade-Off zwischen viel Stickoxidemissionen

3.2 Abgasnachbehandlung zur Reduktion von Partikelemissionen

Zur Reduktion der Partikelemissionen werden Partikelfilter eingesetzt. Diese filtern alle Partikeln im Abgas bis zu einer bestimmten Größe heraus. Moderne Partikelfilter besitzen dabei auch bei den feineren Partikeln einen guten Abscheidungsgrad. Die Einführung des Partikelfilters war eine technische Herausforderung, vor allem die Regeneration musste bewältigt werden. Als Regeneration des Partikelfilters wird die thermische Umwandlung der eingespeicherten Partikelemissionen zu Kohlenstoffdioxid bezeichnet. Einerseits ist eine kontinuierliche Regeneration möglich. Dabei werden innermotorisch die Stickoxidemissionen genutzt, welche als Oxidationsmittel für den Ruß im Partikelfilter dienen. Zum anderen bietet die aktive Regeneration eine

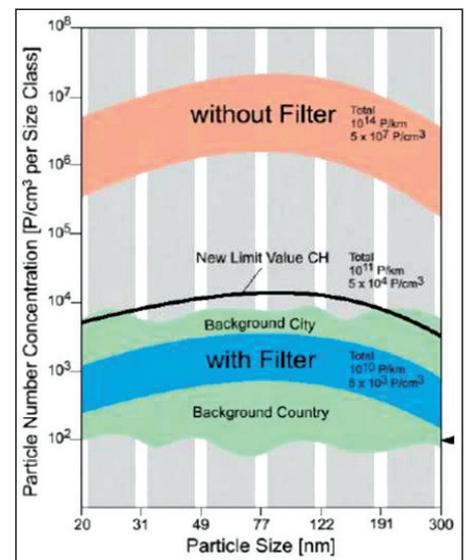


Abb. 3 Vergleich der Partikelemissionen eines Dieselmotors mit und ohne Partikelfilter und die Umgebungsluft, referenziert auf die Schweiz [3]

des Fahrzeuges, wirkt also im Realbetrieb gleichmäßig.

3.3 Abgasnachbehandlung zur Reduktion von Stickoxidemissionen

Zur Reduktion von Stickoxiden wird bei modernen Fahrzeugen ein selektives katalytisches System (SCR-Katalysator) verwendet. Dabei wird Harnstoff in wässriger Lösung, sogenanntes AdBlue®, eingespritzt. Der Harnstoff wandelt sich über Thermolyse- und Hydrolysevorgänge in Ammoniak um. Ammoniak reagiert im SCR-Katalysator mit den Stickoxidemissionen zu Wasser und Stickstoff. Die Technologie ist anspruchsvoll und aufgrund von möglichen Harnstoffablagerungen bei kälteren Temperaturen erst ab Bauteiltemperaturen von über 180 °C einsetzbar. Um diese Bedingungen schneller zu erreichen, sind motornahe und somit wärmere Abgasnachbehandlungen nach umfangreichen Entwicklungen und dank neuer Fahrzeugarchitekturen in den neuesten Fahrzeugen vertreten. Diese ermöglichen die Unterschreitung der zukünftigen Abgasnormen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Stickoxidemissionen bildet ein sogenannter NO_x-Speicherkatalysator. Dieser speichert Stickoxide unter sauerstoffreichen Gaszusammensetzungen ein und wird unter sauerstoffarmen Bedingungen mit im Abgas befindlichem Kohlenstoffmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen regeneriert. Durch die niedrigere Starttemperatur von 120 °C bietet der Speicherkatalysator in Kombination mit einem SCR-Katalysator eine moderne Lösung, die eine Reduktion bei niedrigeren Abgastemperaturen mit kontinuierlicher Umwandlung vereint.

4 Gesetzgebung und Fahrzyklen

Die erste Norm zur Limitierung der Schadstoffe für Personenkraftwagen ist mit der Euro-1-Norm im Jahre 1990 eingeführt worden. Seitdem wurde mit jedem Entwicklungszyklus von je ungefähr fünf Jahren eine Verschärfung der Limitierung durchgeführt. Zurzeit gelten die Euro-6-Normen für neu zugelassene Fahrzeuge, die wirksam in den Stufen 6a, 6b und 6d eingeführt wurde. Die Limitierung basiert auf Prüfstandsfahrten mit dem NEFZ (»Neuer Europäischer Fahrzyklus«). Der NEFZ wurde nicht dafür entwickelt, die Realität widerzuspiegeln. Er sollte als Vergleichsbasis dienen, um die verschiedenen Fahrzeuge besser miteinander zu vergleichen. Der NEFZ ist als Fahrzyklus eher undynamisch und spiegelt somit nicht das aktuelle reale Fahrverhalten wieder. In der Gesetzgebung ist nur das Erreichen der Emissionsziele in der Gesamtbetrachtung dieses Testes gefordert. Eine Erkennung des Fahrzyklus und damit einhergehende Veränderungen zu einer Fahrt auf der Straße sind nicht erlaubt. Ausnahmen bilden dabei in Europa Maßnahmen zum Komponentenschutz, die die Applikation der Abgas-

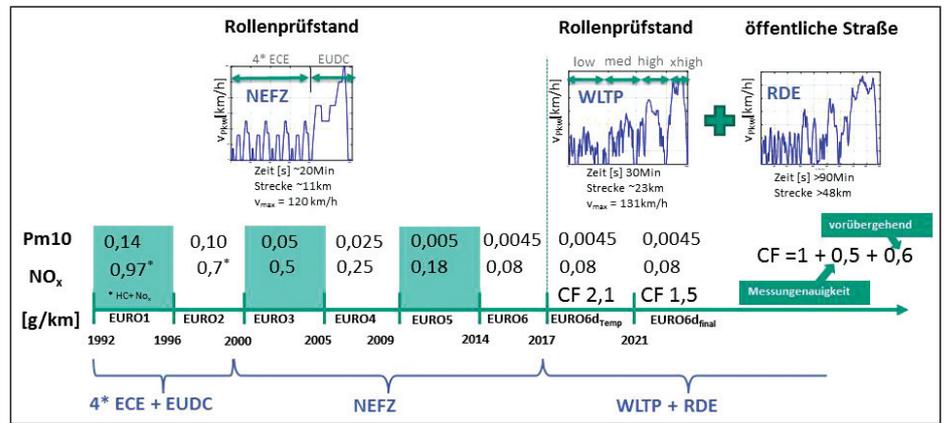


Abb. 4 Auflistung der Euro-Normen über der Zeit und Grenzwerten mit den dazugehörigen Testzyklen; angelehnt an [5]

nachbehandlung beeinflussen und gestattet sind. Um die Diskrepanz zu den Testzyklen und dem realen Fahrverhalten zu korrigieren, wird ab September 2017 der NEFZ durch die »Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure« (WLTP) und einen »Real-Driving-Emission«-Test (RDE) ersetzt. Die Limitierung bei dem RDE-Test wird hierbei durch einen sogenannten Konfirmationsfaktor (CF) angepasst. Dieser setzt sich zum einen aus dem zum heutigem Zeitpunkt ungenaueren Messverfahren bei einer Messung auf der Straße gegenüber einer Messung am Prüfstand (+0,5) und zum anderen aus der großen Herausforderung des neuen Testzykluses und der kurzen Entwicklungszeit (+0,6) zusammen. Der zweite Korrekturwert wird im Jahr 2021 mit der finalen Variante der Euro-6d-Norm gestrichen (CF 2,1 → 1,5). Eine Zusammenfassung der Abgasnormen ist in Abbildung 4 zu sehen. Dabei sind im unteren Bereich die zeitlichen Entwicklungen der Norm-Klassen und ihre jeweiligen Limitierungen abgebildet. Im oberen Abschnitt sind die dazugehörigen Fahrzyklen abgebildet. Die Reduktion der Limitierung beträgt dabei von Euro 3 im Jahr 2000 auf Euro 6 im Jahr 2014 bei den Stickoxidemissionen 82 % und bei den Partikelemissionen 91 %. Mit den ab September 2017 eingeführten neuen Fahrzyklen werden die Reduktionen dann auch im Straßenbe-

trieb sichergestellt. Trotz der Einführung der Euro-5-Norm vor acht Jahren in 2009 liegt der Anteil der zugelassenen Fahrzeuge mit dieser Emissionsstufe in Deutschland bei nur 29,4 %. Der Anteil an Euro-6-Fahrzeugen beträgt aktuell erst 13,4 % [4].

5 Strategien zur Emissionsreduktion

Durch die immer stärkere Limitierung der Emissionen in der Gesetzgebung und die Verfügbarkeit und Erprobung der neuen Technologien zur Abgasnachbehandlung haben sich die Strategien zwischen der Euro-5- und Euro-6-Norm geändert.

5.1 Strategien zur Erfüllung der Euro-5-Norm

Zur Erfüllung der Euro 5-Norm war eine deutliche Reduktion der Partikelemissionen gefordert. Im linken Teil der Abbildung 5 ist die Strategie für die Euro-5-Zertifizierung dargestellt. Hierbei ist die Ruß-NO_x-Schere zu sehen. Rechts ist die Strategie zur Erreichung der Euro-6-Norm dargestellt, welche im nächsten Abschnitt erläutert wird. Zusätzlich zum Anstieg der Partikel sind eine Verschlechterung des Wirkungsgrads und eine Versottung des Motors zu beobachten. Mit innermotorischen Maßnahmen können die Emissionen nur entlang der Ruß-NO_x-Schere eingestellt werden. Allein mit inner-

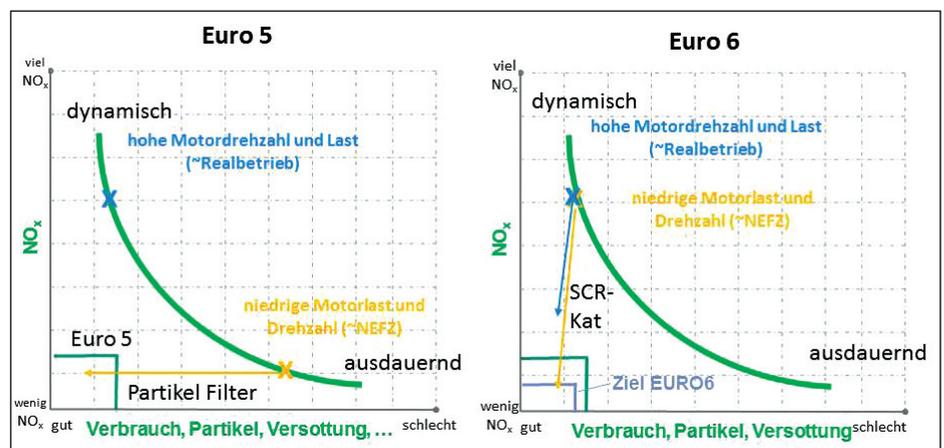


Abb. 5 links: Strategie zur Erreichung der Euro-5-Norm; rechts: Strategie zur Erreichung der Euro-6-Norm; angelehnt an [5]

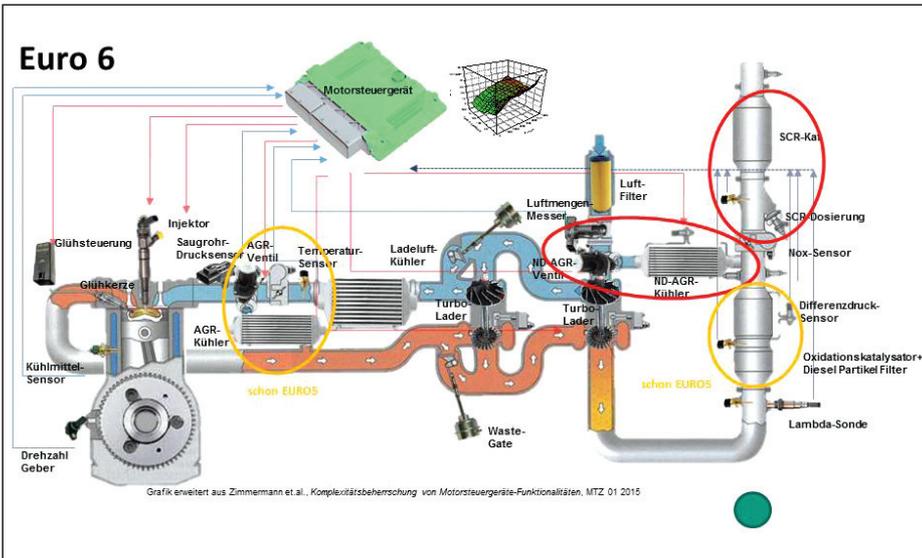


Abb. 6 Aufbau des Luftpfades eines Dieselmotors zur Erreichung der Euro-6-Norm [5]

motorischen Maßnahmen konnte die Euro-5-Norm somit nicht erreicht werden. Zur Einführung der Euro-5-Norm war die Technologie des SCR-Katalysators aber noch nicht derart ausgereift, dass man sie für Personenkraftwagen sicher hätte nutzen können. Dabei machte vor allem der begrenzte Bauraum gegenüber Nutzfahrzeugen Schwierigkeiten. Um die Ziele zu erreichen, mussten vor allem innermotorisch in den Bereichen des NEFZ die Stickoxidemissionen reduziert werden. Die dadurch verursachte Erhöhung der Partikel konnte mit dem bei Euro 5 eingeführten Partikelfilter in der Abgasnachbehandlung reduziert werden. Diese Maßnahmen zeigten aber gleichzeitig Nachteile wie die Versottung und erhöhten Verbrauch. Um für den Kunden trotzdem eine gute Dynamik und einen niedrigeren Verbrauch zu realisieren, musste außerhalb der Kennfeldbereiche des NEFZ eine Strategie gewählt werden, die den Schwerpunkt auf den Verbrauch und der Vermeidung der Versottung legt. Die dabei anfallenden erhöhten Stickoxidemissionen können nachträglich nicht mehr reduziert werden, waren aber nicht Teil der gesetzlichen Vorgabe. Diese führte dann zum starken Unterschied zwischen Testzyklus und realem Fahrverhalten.

5.2 Strategien zur Erfüllung der Euro-6-Norm

Zur Erfüllung der Euro-6-Norm ist eine deutliche weitere Reduktion der Stickoxidemissionen gefordert. Diese kann durch innermotorische Maßnahmen ohne zu starke Einflüsse auf den Verbrauch nicht weiter reduziert werden. Des Weiteren war die Entwicklung des SCR-Kats vorangeschritten. Dieser konnte mit reduziertem Bauraumbedarf nun auch bei Personenkraftfahrzeugen eingesetzt werden. In Abbildung 6 sind die Neuerungen des Aufbaus eines typischen Euro-6-Motor-Luftpfades angegeben. Zur Euro-5-Norm kamen in vielen Applikationen eine zusätzliche Niederdruck-Abgas-

rückführung sowie der SCR-Katalysator hinzu. Die Strategie zur Erfüllung der Euro-6-Norm ist in Abbildung 5 rechts dargestellt. Auch hier ist wieder die Ruß-NO_x-Schere zu sehen. Durch die nachträgliche Abgasnachbehandlung des SCR-Katalysator kann die innermotorische Strategie bei dem Fahrzyklus so eingestellt werden, dass auch in dem Bereich des NEFZ eher viele Stickoxidemissionen und weniger Partikel emittiert werden. Die erhöhten Stickoxide werden anschließend durch den SCR-Katalysator reduziert. Dieser ist auch in Bereichen außerhalb des Zyklus aktiv und somit kann eine Reduktion der Stickoxide im gesamten Kennfeld ermöglichen. Mit weiteren applikativen Maßnahmen ist jetzt das Potenzial gegeben, die Stickoxidemissionen im realen Fahrbetrieb zu reduzieren und damit sowohl die aktuellen gesetzlichen Anforderungen als auch die notwendigen reduzierten Realmissionen zu erfüllen.

6 Entwicklung der Luftqualität

Der Einfluss der Luftqualität und die Entwicklung der Immissionsbelastung in Deutschland und speziell in Baden-Württemberg werden in den nachfolgenden Abschnitten diskutiert.

6.1 Entwicklung der Partikelimmissionen in Deutschland

Um die Entwicklung der Partikelimmissionen der Luft in Deutschland zu bewerten, werden Daten aus den Emissionsmessungen des Umweltbundesamtes hinzugezogen [6]. Abbildung 7 zeigt dabei die Entwicklung der Partikelmissionen nach Quellkategorie von 1995 bis 2014. Die Partikelmissionen, verursacht durch den Verkehr sind dabei die Partikelmissionen des Motors einschließlich des Abtriebs der Reifen und der Bremsen. Die Partikelmissionen haben im gesamten Betrachtungsraum um circa 30 % abgenommen. Im Bereich des Verkehrs liegt der Abfall über 50 %. Der Anteil der durch den Verkehr verursachten Partikel liegt dabei im Jahr 2014 noch bei 13 %. Der Abfall ist trotz des immer größer werdenden Verkehrsaufkommens deutlich auf die immer strengere Emissionsgesetzgebung und deren Umsetzung in Fahrzeugen zurückzuführen. Nach Prognosen des Umweltbundesamtes [7] nehmen die Partikelmissionen verursacht durch den Verkehr zwischen 2010 und 2030 um 49 % ab. Der Anteil der Abgase sinkt dabei sogar um 80 % bezogen auf ungefähr 8.000 t/a im Jahr 2005. Nach den Prognosen ist der Anteil des Verbrennungsmotors gegenüber dem Anteil des Abtriebs der Reifen und der Bremsen aufgrund der Einführung des Partikelfilters in Zukunft vernachlässigbar klein. Auch bei einem detaillierten Blick auf Baden-Württemberg ist eine deutliche Abnahme der Immissionen zu beobachten. Um dies zu beurteilen, werden in Baden-Würt-

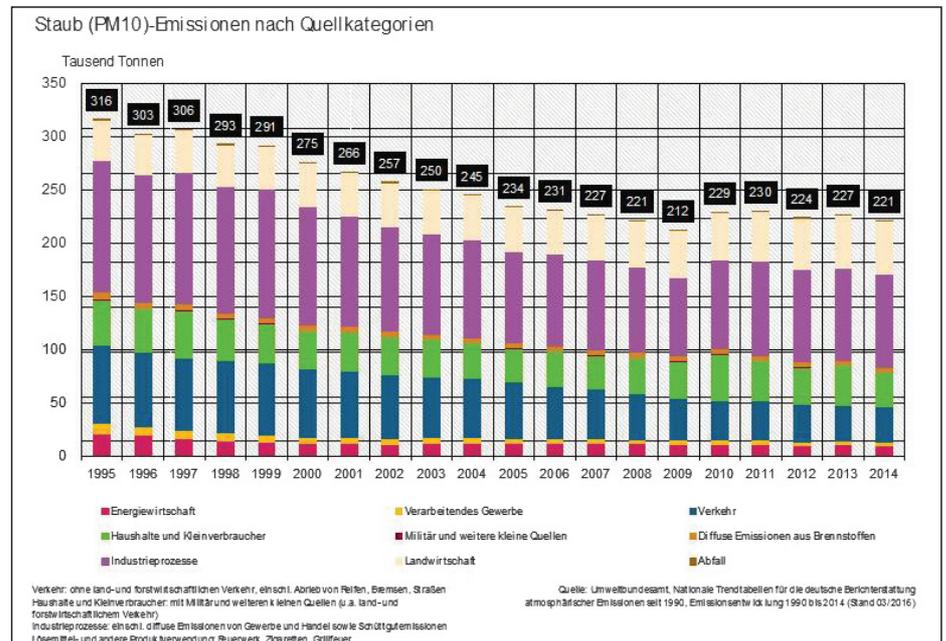


Abb. 7 Entwicklung der Partikelmissionen von 1995 bis 2014 nach Quellkategorie [6]

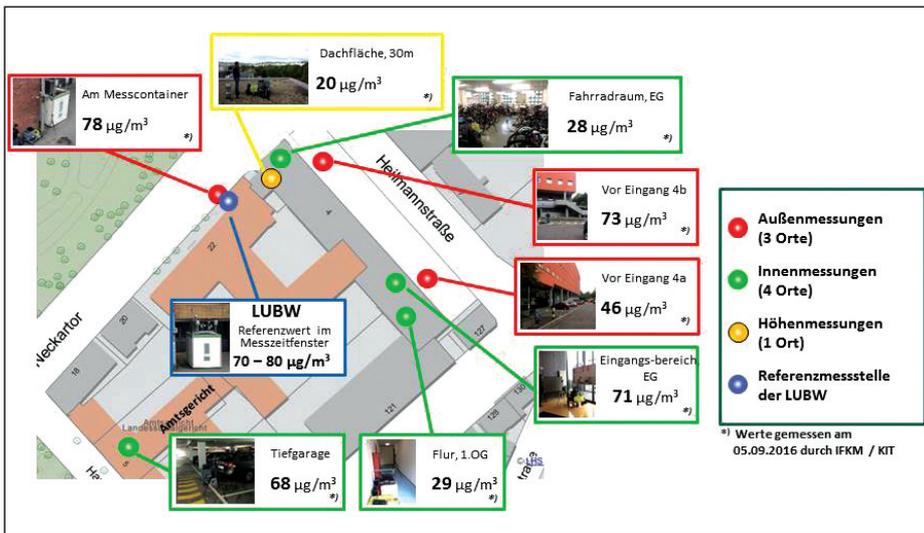


Abb. 11 Stickoxidmessungen im Bereich rund um das Stuttgarter Neckartor [5]

sung am Eingangsbereich mit geöffneter Tür. Auch die Höhenmessung unmittelbar am Messcontainer zeigt eine deutliche Reduktion. Der unmittelbare Einfluss einer Straße für die umgrenzende Umgebung im Hinblick auf die Stickoxidimmissionen ist somit als gering zu bewerten. Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die Immissionsbelastung bei den Stickoxiden stetig reduziert. Der Anteil des Verkehrs und des Dieselmotors an dieser Belastung ist aktuell noch immer zu hoch, mit den immer fortgeschritteneren SCR-Katalysatoren werden diese Immissionen aber deutlich reduziert werden.

Fazit

Der Dieselmotor stellt durch seinen geringen Verbrauch eine wichtige Säule zur CO₂-Reduktion dar und ist in vielen Anwendungen nicht äquivalent austauschbar. Viele der vom Dieselmotor emittierten Emissionen, wie unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxid und Schwefeldioxid sind schon seit längerer Zeit sehr gering und somit nicht mehr relevant. Mit der Einführung des Partikelfilters sind auch die emittierten Partikelemissionen nicht höher als die Umgebungsluft – in vielen Bereichen sogar unter den Immissionswerten. Da eine kontinuierliche Erneuerung der Fahrzeugflotte stattfindet, wird der Partikelfilter zeitnah in den meisten Diesel-Fahrzeugen vertreten sein. Da der Partikelfilter kennfeldun-

abhängig arbeitet, werden bei den Partikelemissionen minimale Unterschiede zwischen dem NEFZ und dem Realbetrieb zu erkennen sein. Damit sinken bereits mit der Euro-5-Fahrzeugflotte die durch den Dieselmotor stammenden Partikelemissionen deutlich und somit auch ein möglicher Feinstaub-Einfluss, so dass der Verbrennungsmotor kein wesentlicher Emittent mehr ist.

Bei den Stickoxiden kamen die größten Reduktionen im Realbetrieb erst mit Fahrzeugen der Euro-6-Norm im Jahr 2014 zum Einsatz. Auch hier wird die stetige Erneuerung der Flotte zu einer deutlichen Reduktion führen. Durch die im September 2017 geforderten neuen Testzyklen wird auch der Unterschied zwischen den auf der Rolle gemessenen Werten und den Werten des realen Fahrbetriebs sehr deutlich abnehmen. Neue Technologien wie motornahe Abgasnachbehandlungskomponenten, die deutlich schneller ihre Betriebstemperatur erreichen, sind robust entwickelt und kommen mit den kommenden Modellen in Serie. Mit diesen neuen Technologien in der Abgasnachbehandlung werden auch die Stickoxidemissionen des Verkehrs deutlich abnehmen und der Diesel ein Image verbessern können.

Die Betrachtung der Immissionsbelastung zeigt, dass diese bereits seit den letzten Jahren stetig fällt. Am deutlichsten ist dabei auch der Anteil der im Verkehr verursachten Emissionen gesunken. Eigene Messungen des KIT zeigen zusätzlich, dass sich die unmittelbar größte Belastung bei den Stickoxid-

emissionen auf die direkte Quelle beschränkt. Somit ist eine Belastung der umgebenden Bevölkerung als gering zu betrachten. Prognosen für die kommenden Jahre zeigen weitere deutliche Reduktionen bei den Emissionen. Durch immer größere Anteile moderner Fahrzeuge wird der Anteil der vom Verkehr verursachten Stickoxid-Emissionen weiter sinken.

Die Technologien für einen sauberen Diesel sind entwickelt und werden wie auch ältere Maßnahmen ihre Wirkung zeigen. Somit wird der Diesel auch in den kommenden Jahren einen entscheidenden Anteil in der individuellen Mobilität besitzen und seinen Anteil an den Emissionen deutlich senken.

Literatur

- [1] AVISO GmbH: Gesamtwirkungsgutachten zur immissionsseitigen Wirkungsermittlung der Maßnahmen der 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Stuttgart. Abschlussbericht, Aachen, Februar 2017.
- [2] LUBW Landesanstalt für Umwelt: Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; »Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg«. LUBW Landesanstalt für Umwelt; Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; Karlsruhe 2013.
- [3] A. Mayer, M. Wyser, J. Czerwinski, J.-L. Petermann: Erfahrungen mit Partikelfilter-Nachrüstungen bei Baumaschinen in der Schweiz. FAD-Konferenz 2003.
- [4] Kraftfahrtbundesamt; Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2017; Internetquelle; http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html?nn=644526; Aufruf 11. 03. 17.
- [5] T. Koch: Dieselmotor und Luftqualität. Pressworkshop, Karlsruhe 28. 09. 16.
- [6] Daten des Umweltbundesamtes: Emission von Feinstaub der Partikelgröße PM-10; Internetquelle; <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm10#textpart-1>; Aufruf 11. 03. 17.
- [7] Umweltbundesamt: Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien. Dessau-Roßlau, Juli 2014.
- [8] Daten der LUBW: Daten und Kartendienst; Immissionsvorbelastung; Internetquelle; <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/>; Aufruf 11. 03. 17.
- [9] Daten des Umweltbundesamtes: Stickstoffdioxid-Emissionen; Internetquelle, <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffdioxid-emissionen#textpart-1>. Aufruf 11. 03. 17.