

Stand: Juni 2017

Ergänzung der Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO_x-Nachrüsttechnologien und Bewertung der Nachbesserung

Zusammenfassung

Die technischen Optionen der Nachbesserung (Software-Updates, NO_x-Minderung zwischen 20-30% beim VW-Rückruf und der technischen Obergrenze von rund 50%) in Kombination mit den hohen Minderungsraten aktiver NO_x-Nachrüstsysteme (Hardware-seitig mit SCR-Katalysator, um bis zu 95% NO_x-Minderung im konkreten Falle des Twintec-Prototyps) erlauben ein hohes Maß an Durchdringung in der Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte. Beide Ansätze mindern den NO_x-Ausstoß nachweislich. Eine hohe NO_x-Minderung der Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte von durchschnittlich 50% und mehr ist allerdings nicht allein mit Nachbesserungen möglich; dies setzt einen nennenswerten Anteil nachgerüsteter Pkw voraus.

Die Einbindung der Fahrzeughersteller ist allerdings Voraussetzung für die Durchführung beider Maßnahmen: der Nachbesserung und Nachrüstung. Insbesondere die Nachrüstung profitiert davon hinsichtlich technischer Integration, praktischer Umsetzung, Minderungspotentialen und Kosten und ggf. auch bei der Genehmigung der Nachrüstung. Die Kosten für die Nachbesserung werden deutlich niedriger eingeschätzt als die für Nachrüstungen. Jedoch ergeben sich auch für Nachrüstungen von Euro-5-Diesel-Pkw niedrigere Kosten im Vergleich zum UBA-Bericht „Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO_x-Nachrüsttechnologien“ vom Oktober 2016, da durch die Beteiligung der Fahrzeughersteller eine kostengünstigere Beschaffung von Bauteilen für SCR-Katalysatoren möglich sein wird. Die Kosten dürften somit im unteren Bereich der Schätzung des vorangegangenen UBA-Berichts liegen.

Um die NO_x-Minderungen für nachgebesserte und nachgerüstete Fahrzeuge der Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw-Flotte im praktischen Betrieb auf der Straße nachweisen zu können, müssen Messverfahren zur Überprüfung definiert werden. Der Nachweis ist nach Auffassung des UBA unter RDE-konformen Messbedingungen für den einzelnen Fahrzeugtyp durchzuführen. Eine Überprüfung der Messungen allein auf dem Rollenprüfstand selbst auf Basis neuer Fahrzyklen (WLTP / Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) wird als nicht ausreichend angesehen. Die Überprüfung der Wirksamkeit der Minderungsmaßnahmen soll von herstellerunabhängigen Institutionen erbracht und auch an in Betrieb befindlichen Fahrzeugen durchgeführt werden.

Neben Euro-5- tragen laut HBEFA-Version 3.3 auch Euro-6-Diesel-Pkw im praktischen Betrieb signifikant zu den hohen NO_x-Emissionen an verkehrsbelasteten Standorten bei. Eine Nachbesserung dieser Fahrzeuge ist daher ebenfalls angebracht und notwendig. Es liegen aber bisher keine verlässlichen Angaben zu den NO_x-Minderungspotentialen durch Nachbesserung oder Nachrüstung von Euro-6-Diesel-Pkw vor.

Die Pkw-Flottenerneuerung wird zwar in Zukunft (bis 2030) den Jahresmittelwert der NO₂-Konzentration an verkehrsnahen, innerstädtischen Messstationen im Vergleich zur aktuellen Belastung bereits signifikant reduzieren. Ohne zusätzliche Nachbesserung und Nachrüstung von Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw sowie dem Ausschluss eines Teils der Diesel-Flotte (nicht nachgebesserter/nachgerüsteter Diesel-Pkw sowie Diesel-Pkw Euro 4 und älter) wird der EU-Grenzwert aber auch in Straßen, die aktuell vergleichsweise moderate NO₂-Grenzwertüberschreitungen (Mainz / Parcusstraße, Jahresmittelwert: 53 µg NO₂/m³ in 2016) aufweisen, nicht vor 2025 mit Sicherheit einhalten können. Aus diesem Grund ist bundesweit eine Kombination der Nachbesserung und Nachrüstung mit Einfahrverboten anzustreben. An den national höchstbelasteten Standorten (Stuttgart / Am Neckartor, München / Landshuter Allee) sind dafür zukünftig sogar noch weiterführende restriktive Maßnahmen notwendig.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Ausgangssituation und Einordnung	4
Nachbesserung von Diesel-Pkw mittels Softwaremodifikationen	5
Nachrüstung von Diesel Pkw mittels Abgasnachbehandlungssystemen	7
Hintergrund und Problemstellung	7
Funktionsweise	8
Machbarkeitsstudie anhand einer Pkw-Umrüstung	8
Bewertung.....	9
Grenzwert und Überprüfungsansatz für Nachbesserungs- und Nachrüstmaßnahmen	11
Immissionsprognose	15
Die Szenarien	15
Ergebnisse und Bewertung	15
Beschreibung der methodischen Vorgehensweise am Beispiel des Standortes Landshuter Allee	17

Ausgangssituation und Einordnung

An rund 57% der verkehrsnahen Messstationen für Luftqualität in Deutschland (143 Messstellen in 2016) wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert der Stickstoffdioxidkonzentration (NO_2), obwohl schon seit 2010 bindend, wiederkehrend überschritten. In einigen betroffenen Kommunen sind aufgrund der deutlichen Überschreitungen konkrete Einfahrverbote von Diesel-Pkw angekündigt (z. B. Stuttgart) bzw. in der Diskussion (z. B. Mainz). Erfolgreiche Klagen von Umweltschutzverbänden (z. B. Deutsche Umwelthilfe) gegen die betroffenen Kommunen erhöhen den Handlungsdruck zusätzlich. Diesel-Pkw, insbesondere die Euro-5-Flotte, sind als dominierende einzelne Emissionsquelle von Stickoxiden (NO_x) im urbanen Raum identifiziert. Damit stellen Emissionsminderungen an Euro-5-Diesel-Pkw neben der Erneuerung der Pkw-Flotte einen wichtigen Ansatzpunkt für die Senkung der urbanen NO_2 -Belastung dar. Die in Betrieb befindlichen Euro-6-Diesel-Pkw der Abgasnormen Euro 6a, 6b und 6c tragen zukünftig mit wachsendem Anteil ebenfalls zum NO_x -Ausstoß bei. Nachweislich die effektivste Maßnahme zur Minderung der NO_2 -Belastung in Städten ist ein Einfahrverbot für hoch emittierende Diesel-Pkw.

Im Zuge der Veröffentlichung der neuen Version 3.3 des Handbuches für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) wird aufgrund der nochmals erhöhten Emissionsfaktoren für NO_x der Handlungsbedarf zur Minderung der Emission von Euro-5- (906 mg NO_x/km) und Euro-6-Diesel-Pkw (ohne RDE im Typengenehmigungszyklus, 507 mg NO_x/km) verstärkt. Die Minderung der NO_x -Emissionen an in Betrieb befindenden Diesel-Pkw kann demnach entscheidend helfen, die Luftqualität an verkehrsbelasteten Standorten zu verbessern.

Als Möglichkeiten der Minderung kommen sowohl Nachrüstung als auch Nachbesserung in Betracht. Über die Nachrüstung, d.h. den Einbau zusätzlicher Abgasnachbehandlungssysteme bei Euro-5-Pkw, hat das UBA gegenüber dem BMUB bereits im August und Oktober 2016 berichtet. Neben diesen Hardware-seitigen NO_x -Minderungen sind allerdings auch durch die Modifikation der Software zur Steuerung des Motors und der Abgasnachbehandlung mit den herstellerseitig installierten Systemen bereits erhebliche Potentiale zur Minderung der Emissionen vorhanden. Diese Art der Minderung wird im Folgenden als Nachbesserung bezeichnet. Die Bundesumweltministerin Dr. Hendricks sieht die Automobilhersteller in der Pflicht, Maßnahmen zur Ertüchtigung der betroffenen Fahrzeuge zu ergreifen. Die Verlagerung dieser Verantwortung hin zu den Herstellern würde entscheidende technische Hürden überwinden. Minderungsmaßnahmen erhalten damit Zugriff auf – bis dahin den Herstellern vorbehalten – Schnittstellen, insbesondere die Sensordaten der Abgasnachbehandlung, die Motorsteuerung und die Hardware-seitige Abgasführung.

Die Möglichkeiten der Nachbesserungen werden nachfolgend eingeordnet, mögliche Veränderungen beim Sachstand zur Nachrüstung beschrieben und die Wirkung beider Maßnahmen auf verschiedene Flottendurchdringungs- und Flottenausschlusszenarien an zwei Standorten genannt und diskutiert.

Nachbesserung von Diesel-Pkw mittels Softwaremodifikationen

Euro 5- aber auch Euro 6-Diesel-Pkw überschreiten im praktischen Betrieb auf der Straße die während der Typgenehmigung auf Rollenprüfständen eingehaltenen NO_x-Emissionsgrenzwerte oft deutlich. Im Rahmen der Typgenehmigung werden die Fahrzeuge im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) auf dem Rollenprüfstand getestet, genehmigt und überprüft. Dieser Zyklus bildet jedoch nur einen kleinen Teil der im realen Fahrbetrieb vorzufindenden Lastzustände und vorherrschenden Umgebungsbedingungen ab (z. B. Umgebungstemperaturen zwischen 20 °C und 30 °C). NO_x-mindernde Maßnahmen des Motors und des Abgasnachbehandlungssystems (z. B. Abgasrückführung) decken prüfzyklusferne Betriebszustände oft nicht optimal ab. Nachbesserungen zielen darauf ab, durch Änderungen an der Software in weiten Teilen des Motorkennfeldes und unter vielen Umgebungsbedingungen (insbesondere niedrigeren Außentemperaturen) deutlich geringere NO_x-Schadstoffemissionen zu erreichen. Bereits in Folge der vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) koordinierten Messungen der „Untersuchungskommission VW“ wurden aufgrund des festgestellten Emissionsverhaltens Nachbesserungen an verschiedenen Pkw-Typen durch Modifikationen an der Software vorgenommen.

Dem Umweltbundesamt vorliegende Auswertungen des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) zeigen, dass diese Software-Updates an den im Rahmen des angeordneten Rückrufes Volkswagen nachgebesserten Fahrzeugen (rund 2,3 Million Pkw) zu einer NO_x-Emissionsminderung in der Größenordnung von 2 bis 45% geführt haben. Das über die Fahrzeuganzahl gewichtete Mittel der NO_x-Minderungen lag bei rund 25%. Die NO_x-Minderungen wurden auf Basis des NEFZ ermittelt, allerdings bei veränderten Rahmenbedingungen (z. B. kalt/warm) und neben Messungen auf dem Rollenprüfstand auch mit Hilfe von PEMS-Messungen (Portable Emissions Measurement System / mobile Emissionsmessgeräte). Damit wurden die Reduktionspotentiale nicht RDE-konform ermittelt, geben aber eine erste Orientierung zu den möglichen NO_x-Minderungen durch Software-Updates.

Um die NO_x-Emissionen optimal zu mindern, können bei der Nachbesserung zwei Ansätze verfolgt werden. Zum einen wird die Wirksamkeit von vorhandenen NO_x-Minderungssystemen auf weitere Teile des Motorkennfeldes des Fahrzeuges ausgeweitet. Zum anderen wird ein Umgebungstemperatur-unabhängiger Betrieb dieser Systeme angestrebt. Die TU Graz empfiehlt eine Absenkung der unteren Temperatur des wirksamen „Temperaturfensters“ für die Aktivität der NO_x-Minderungsmaßnahmen (Abgasrückführung / AGR) auf 10 °C. Das Minderungspotential des durchschnittlichen Emissionsfaktor von Euro 5 Diesel Pkw wird in diesem Fall auf ca. 13% beziffert. Angesichts der Jahresmitteltemperatur z. B. am Stuttgarter Neckartor von 10,5 °C und der vorliegenden Verkehrslastspitzen um die Morgen- und Abendstunden ist dieser Wert möglicherweise nicht ausreichend niedrig gewählt, um eine höchstmögliche Minderung zu erzielen. Kondensat-Bildung im Abgassystem und eine damit einhergehende „Versottung“ der AGR-Bauteile sind eine mögliche technische Randbedingung, die das Temperaturfenster nach unten begrenzt.

Eine reine Steuersoftwaremodifikation, die beide o. g. Gesichtspunkte einschließt (Motorkennfeld- und Temperaturbereichserweiterung), kann die NO_x-Emissionen eines Euro-5-Diesel-Pkw im optimalen und damit günstigsten Fall um bis zu 50% senken. Zu dieser Einschätzung kamen Experten der TU Graz bei einem Treffen der Landesregierung Baden-Württemberg mit Vertretern der Automobilhersteller, der Umweltverbände und der Forschung. Der VW-Rückruf hatte demgegenüber NO_x-Minderungen in der Größenordnung

von gemittelt rund 25% aufgezeigt (siehe oben). Trotz der bisher fehlenden RDE-Messungen dürften die NO_x-Minderungen als unteres Potential durch Software-Updates angesehen werden, da beim VW-Rückruf nicht alle NO_x-Minderungspotentiale durch eine Nachbesserung voll ausgeschöpft worden sein dürften.

Einschränkend bei Nachbesserungen ist, dass sich die Ausgangssituation und die erzielbare NO_x-Minderung im praktischen Betrieb auf der Straße abhängig vom Fahrzeugtyp stark unterscheiden können. Die Durchführbarkeit einer Softwaremodifikation hängt von einer Vielzahl von Voraussetzungen ab, wie z. B.: vorhandene Sensorik, Charakteristik des Abgasnachbehandlungssystems bezüglich Lebensdauer und Leistungsfähigkeit. Diese Faktoren reduzieren einerseits das mögliche NO_x-Minderungspotential und beschränken andererseits den Anteil der Flotte, der überhaupt nachgebessert werden kann.

Pkw-Hersteller nennen einen möglichen Euro-5-Flottendurchdringungsgrad von 40 bis 60% mit einer softwareseitigen Nachbesserung. Es wurde von Seiten der Pkw-Hersteller keine Aussagen getroffen, welcher Minderungsgrad durchschnittlich damit verbunden ist. Uns liegen keine Fakten vor, die eine Bewertung der Belastbarkeit dieser Zahlen erlauben. Allerdings ist davon auszugehen, dass im Durchschnitt der Flotte an Euro-5-Diesel-Pkw die NO_x-Minderung deutlich unter 50% liegen wird (gleichzeitig allerdings über den rund 25% beim VW-Rückruf).

In der Präsentation der TU Graz wird darauf hingewiesen, dass die geforderte NO_x-Minderungsrate pro Fahrzeugtyp einen Einfluss auf die Anzahl nachbesserbarer Fahrzeuge haben kann. Konkret heißt das, dass mit einer niedrigeren NO_x-Minderungsrate pro Fahrzeug eine höhere Flottendurchdringung erzielt werden kann. Eine flottenweite Minderung der NO_x-Emissionen der Euro-5-Diesel-Pkw von durchschnittliche 50% kann allerdings nicht mit einer reinen Software-seitigen Nachbesserung erreicht werden, da sowohl die NO_x-Minderung pro Fahrzeug als auch die Flottendurchdringung zu niedrig sein werden. Es ist stattdessen innerhalb der Euro-5 Diesel-Pkw von einer NO_x-Minderung zwischen 10% (Annahme: 25% Minderung x 40% Flottendurchdringung) und 30% (50% Minderung x 60% Flottendurchdringung) auszugehen, wenn man den obigen Annahmen folgt.

Ein klarer Vorteil einer Nachbesserung ist die Verlagerung der Verantwortung von der Typgenehmigung hin zu den Herstellern, die entscheidend beitragen kann, technische Hürden zu überwinden und NO_x-Minderungspotentiale zu realisieren.

Minderungsmaßnahmen würden damit Zugriff auf wichtige Schnittstellen, insbesondere die Sensordaten der Abgasnachbehandlung, die Motorsteuerung und die Hardware-seitige Abgasführung, erhalten. Gleichwohl ist bei der administrativen Ausgestaltung der Nachbesserungen darauf zu achten, keine unnötigen Freiräume zur Auslegung zu überlassen, die technisch nicht notwendig sind.

Mit dieser fachlichen Einschätzung ist eine Nachbesserung der Fahrzeuge prinzipiell positiv zu bewerten. Jedoch sollte diese Maßnahme nicht auf Diesel-Pkw der Abgasnorm Euro 5 beschränkt werden, sondern auch Euro-6-Diesel-Pkw mit einschließen. Es ist zudem davon auszugehen, dass der Anteil der nachbesserbaren Diesel-Pkw über den von den Pkw-Herstellern genannten Werte von 40 bis 60% liegen dürften – hierzu sind weitere Klärungen der technischen Machbarkeit notwendig. Mit deutlich geringeren Kosten einer Nachbesserung gegenüber einer Nachrüstung im niedrigen dreistelligen Euro-Bereich sind bereits nennenswerte NO_x-Minderungen bei den Stickoxid-Emissionen der Diesel-Pkw zu erwarten. Dieses Minderungspotential sollte zur Verbesserung der Luftqualität auf jeden Fall erschlossen werden.

Ein Risiko ergibt sich allerdings, wenn mögliche Einfahrverbote durch eine durchgeführte Nachbesserung geschwächt werden, indem statt neuen Diesel-Pkw, die bereits den zukünftigen RDE-Anforderungen genügen, mehr alte Diesel Pkw mit einem ggf. noch relativ hohen absoluten Emissionsniveau in die Umweltzonen fahren können. Unterstellt man selbst eine 50%ige NO_x-Reduktion bei Euro-5-Diesel-Pkw, liegen die durchschnittlichen NO_x-Emissionen immer im praktischen Betrieb auf der Straße immer noch bei rund 450 mg NO_x/km (zum Vergleich: 168 bzw. 120 mg NO_x/km in der 1. bzw. 2. Stufe der RDE-Gesetzgebung). Dies ist bei einer möglichen Ausgestaltung von Einfahrverboten und der Abschätzung der Wirkung von Nachbesserungsmaßnahmen zu bedenken. Auch die Anforderungen für den Nachweis der Emissionen nach der Softwaremodifikation spielen eine große Rolle. Ausführungen dazu, erfolgen in einem separaten Abschnitt (siehe Abschnitt „Grenzwert und Überprüfungsansatz“).

Nachrüstung von Diesel Pkw mittels Abgasnachbehandlungssystemen

Hintergrund und Problemstellung

Möglichkeiten der Hardware-seitigen Nachrüstung wurden bereits im Bericht „Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO_x-Nachrüsttechnologien“ als Ergebnis eines Fachworkshops des Umweltbundesamtes (UBA) dargestellt. Betrachtet wurden dabei für Pkw ausschließlich autarke Systeme zur Nachrüstung; aktive Systeme, die Zugriff auf die Motordaten benötigen und daher idealerweise eine Zusammenarbeit mit den Pkw-Herstellern bedürfen, wurden dabei nicht untersucht.

Die Nachrüstung von Euro-5-Diesel-Pkw mit aktiven NO_x-Minderungsmaßnahmen wurde bis dato von den Fahrzeugherstellern noch nicht angeboten. Mit einer Ausnahme bieten deutsche Zulieferer von katalytischen Abgasnachbehandlungssystemen für Pkw ebenfalls keine derartigen Nachrüstlösungen an. Die Firma Twintec Technologie GmbH, die nicht an dem besagten UBA-Fachworkshop teilnahm, stellte jedoch in der Zwischenzeit eine entsprechende NO_x-Nachrüstlösung für Euro-5-Diesel-Pkw vor. Da dieses System im Bericht „Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NO_x-Nachrüsttechnologien“ unberücksichtigt blieb, wird nun in diesem Nachtrag darauf ausführlicher eingegangen.

Das System der Firma Twintec basiert auf dem Prinzip der selektiven katalytischen Reduktion (Selective Catalytic Reduction / SCR) von Stickoxiden (NO_x) zu Stickstoff (N₂). Das technische Knowhow der Firma bzgl. NO_x-Nachrüstung stammt vom Nutzfahrzeug-Bereich, welches für die Pkw-Anwendung adaptiert wurde. Als Reduktionsmittel verwendet das System Ammoniak, welcher aus in wässriger Lösung vorgehaltenem Harnstoff entsteht. Die SCR als katalytischer Prozess benötigt ein Mindestmaß an Energie aus der Abgaswärme (gemessen an dessen Temperatur), um NO_x reduzieren zu können. Diese Energie wird für folgende Teilprozesse genutzt:

1. Verdampfen des Wassers aus der Harnstofflösung (AdBlue®),
2. Reaktion (Hydrolyse und Thermolyse) von Harnstoff zu Ammoniak sowie
3. Katalytische Reduktion des NO_x zu N₂.

Euro-5- und Euro-6-Diesel-Fahrzeuge erreichen in niedrigen Lastzuständen (z. B. in der Stadt) wegen ihrer hohen Effizienz und der geringen Last keine ausreichend hohen

Abgastemperaturen (≥ 190 °C nach Abgasturbolader) zur NO_x -Minderung im SCR-System. Twintec begegnet dieser Herausforderung mit einer Auslagerung der ersten beiden Teilprozesse vom Abgasstrom in einen separaten chemischen Reaktor.

Funktionsweise

Ammoniak (NH_3) wird bei dem Twintec-System gesondert vom Hauptabgasstrom in einem zusätzlichen Bauteil (als BNO_x -Generator bezeichnet) aus Harnstoff erzeugt. Die dafür benötigte Wärme wird aktiv auf zwei unterschiedlichen Pfaden zugeführt. Ein Teilabgasstrom wird vor dem Turbolader entnommen, durch den Reaktor geleitet und dient als Heiz- und Trägermedium. Bei Bedarf ist eine elektrische Heizung zugeschaltet, z. B. im Fall des Kaltstarts oder der aktiven Start-Stopp-Automatik. Die Vermischung des NH_3 mit dem NO_x -haltigen Hauptabgasstrom erfolgt hinter dem Diesel-Oxidationskatalysator und vor dem Dieselpartikelfilter und SCR-Katalysator. Die benötigte Temperatur für den SCR-Katalysator im Abgas nach dem Turbolader wird durch die Entkoppelung auf 140 °C reduziert. Wichtig ist, dass dieses System nur mit Zustimmung des Fahrzeugherstellers installiert werden kann und es sich damit um kein autarkes System handelt. Hintergrund ist die Entnahme eines Abgasteilstromes aus dem Krümmer, was formal zu einem Erlöschen der Typgenehmigung führt.

Machbarkeitsstudie anhand einer Pkw-Umrüstung

Zum Aufzeigen der Machbarkeit der NO_x -Nachrüstung wurde von Twintec bisher ein Pkw umgerüstet. Der Pkw ist ein Volkswagen Passat B7 1,6 TDI mit Euro 5 Norm. Twintec liefert Daten, die NO_x -Emissionen vor dem VW-Software-Update im WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) mit Kaltstart mit 681 mg NO_x /km dokumentieren. In diesem Zustand verfügt das Fahrzeug über keinen SCR-Katalysator, sondern nur über eine Abgasrückführung zur innermotorischen NO_x -Minderung. Zu Test- und Demonstrationszwecken wurde das Fahrzeug in der Folge mit originalen VW-Ersatzteilen von Euro-6-Diesel-Pkw nachgerüstet (u. a. SCR-Katalysator) und zusätzlich das BNO_x -System eingebaut. Die von Twintec bereitgestellten Daten liefern keine Information über die NO_x -Emission des Pkw in der reinen Ersatzteilmachbarkeitskonfiguration (ohne BNO_x -Generator). Drei WLTC-Testläufe zeigen im Mittel die Einhaltung der Euro-6-Grenzwerte für Stickoxide (80 mg/km) in der BNO_x -Konfiguration.

Mit Einführung der neuen Abgasnormen Euro 6d-TEMP und Euro 6d (gültig ab 1.9.2017 bzw. ab 1.1.2020 für neue Fahrzeugtypen und ab 1.9.2019 bzw. 1.1.2020 für alle Neuzulassungen) müssen die heutige gültigen Euro-6-Grenzwerte unter Berücksichtigung von Konformitätsfaktoren auch im praktischen Betrieb auf der Straße (Real Driving Emissions / RDE) eingehalten werden. Der BNO_x -Prototyp hält sowohl nach Messungen der Deutschen Umwelthilfe (DUH) als auch des ADAC die Grenzwerte nach EURO-6d-Norm nicht nur im WLTC, sondern auch während PEMS-Messungen (portables Emissionsmesssystem) auch auf der Straße ein. Der Mittelwert aus zehn höchstwahrscheinlich nicht RDE-konformen PEMS-Messfahrten der DUH ergab eine mittlere NO_x -Emission von 69 mg/km. RDE-Messungen des ADAC lagen bei 27 mg NO_x /km. Aber auch für die Messungen des ADAC ist nicht dokumentiert, ob diese vollständig RDE-konform durchgeführt wurden.

Bewertung

Bauraum

Der durch das BNO_x-System oder generell durch eine konventionelle SCR-Anlage beanspruchte Bauraum limitiert die mögliche Flottendurchdringung. Twintec sowie weitere Hersteller von Abgasnachbehandlungssystemen (HJS, BLUEKAT und EBIS¹) bezweifelten in Fachgesprächen die Nachrüstbarkeit von Kleinwagen sowie Fahrzeugen mit Hinterrad-/Allradantrieb. Der räumliche Aufwand für den zusätzlichen „Ammoniak-Generator“ des BNO_x-Systems ist hingegen laut Twintec im Pkw kein limitierender Faktor. Werden allerdings Tankvolumina von AdBlue®-Zusatztanks nach der aktuellen Marktlage betrachtet (VW (11-19 l), Mercedes (8-26 l), Audi (12-24 l), BMW (13-20 l)), muss von einer gewissen Einschränkung der Fahrzeugnutzung gesprochen werden. Diese äußert sich ggf. im Verlust der Ersatzradmulde oder des doppelten Ladebodens im Pkw.

Für eine weitere Bewertung des BNO_x-Systems ist es zwingend notwendig zu ermitteln, für welchen Anteil der Euro-5-Diesel-Pkw ausreichend Bauraum vorhanden ist und ein entsprechendes System nachgerüstet werden kann. Ein erster Schritt zur Ermittlung der Anteile geeigneter Pkw könnte sein, Volumenmodelle anderer Hersteller mit dem System nachzurüsten, um die technische Machbarkeit auch jenseits des VW-Prototyps aufzuzeigen. Eine umfassende Ermittlung des Anteils nachrüstbarer Euro-5-Diesel-Pkw kann allerdings nur in enger Zusammenarbeit mit den Pkw-Herstellern erfolgen.

Kraftstoffverbrauch / CO₂-Emission

Das NO_x-Nachrüstsysteem konsumiert auf zwei Pfaden zusätzlich Energie, die vom primären Antriebssystem bereitgestellt werden muss. Zum einen führt eine Reduktion des Heißgasstroms über den Turbolader durch eine vorangestellte Abzweigung in den BNO_x-Generator zu einer reduzierten Energierückgewinnung aus dem Abgas gegenüber dem Ausgangszustand. Zum anderen belastet die elektrische Heizung des BNO_x-Systems den elektrischen Energiespeicher und somit den Generator des Fahrzeugs. Eine Studie der TU Darmstadt² beziffert die benötigte elektrische Heizleistung mit 2,3 kW im rein-elektrischen Heizbetrieb – Twintec selbst gibt ca. 400 W einschließlich aller Nebenaggregate an. Für diese Reduzierung des Strombedarfs ist die Nutzung des Teilabgasstromes als Heizmedium verantwortlich. Die Erhöhung der CO₂-Emission aus den von Twintec bereitgestellten Daten beträgt im Mittel der Testläufe 1,5%. Die geringe Datenbasis des Fahrzeugs ohne Umrüstung hat nur Stichprobencharakter und erlaubt keine statistisch abgesicherte Analyse.

Auch die Tests des ADAC an dem VW-Passat-Prototyp zeigen eine Zunahme des Kraftstoffverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen. Beim WLTC (heiß) steigt der Kraftstoffverbrauch von 4,86 l/100 km beim deaktivierten SCR-System auf 5,16 l/100 km beim aktivierten SCR-System an – dies entspricht einer Zunahme um 0,3 l/100 km oder von rund 6%. Die CO₂-Emissionen steigen ebenfalls um 6% von 128 auf 136 g/km an. Im ADAC-Autobahnzyklus fällt die Zunahme des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen bei aktiviertem SCR-System mit rund 3% geringer aus. Der auf der Autobahn geringere Verbrauchsanstieg erklärt sich aufgrund der höheren Last und damit höheren Temperatur im

¹ HJS: HJS Emission Technology GmbH & Co. KG; BLUEKAT: BLUEKAT Technologie GmbH; EBIS: EBIS Engineering GmbH & Co. KG.

² Quelle: Waldhelm, A. et al.; Aktives Temperaturmanagement in SCR-Systemen – Anwendungsmöglichkeiten und Betriebsstrategien des elektrisch beheizbaren Katalysators EmiCat®. 5. Emission Control. Dresden; 2010

Abgas, wodurch das SCR-System weniger zusätzliche Energie benötigt. Im Schnitt beträgt der Kraftstoff-Mehrverbrauch bei den Tests des ADAC rund 5%.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der erhöhte Energiebedarf der BNO_x-Nachrüstung einen gesteigerten Kraftstoffverbrauch und damit höhere CO₂-Emissionen im unteren einstelligen Prozentbereich (rund 5%) verursacht.

Dosierung des Reduktionsmittels

Die stöchiometrisch korrekte Dosierung des Harnstoffes bewirkt sowohl eine vollständige Reduktion der Stickoxide als auch Vermeidung von Harnstoffüberschuss. Mit Hilfe eines dem SCR-Katalysator vorgeschalteten NO_x-Sensors sowie hinterlegten Kennlinien wird die vollständige Reduktion von NO_x zu N₂ nahezu erreicht. Auf kurze „Spitzen“ im NO_x-Ausstoß kann nach jetziger Auffassung nur bedingt reagiert werden. Daten des NO_x-Sensors und des Dosiersystems sind nicht publiziert. Durch die Entkoppelung der Ammoniak-Bereitstellung wird die gezielte Dosierung auf Lastwechsel träger.

Twintec selbst nennt AdBlue-Konsumraten von rund 1,9 g/km während der WLTC-Messungen des VW Passat. Aus dieser Angabe und der beschriebenen NO_x-Minderung von 680 mg/km auf rund 80 mg/km ergibt sich unter der Annahme einer gleichbleibenden Stickoxidrohgaskonzentration im Zyklusmittel ein AdBlue-Überschuss. Mit Hinblick auf die effiziente Umsetzung von Harnstoff zu Ammoniak resultiert das in einem Netto-Ammoniak-Überschuss von 37 ppm.³ Analog zu den Nutzfahrzeugen ist im Pkw-Bereich ein NH₃-Schlupfkatalysatoren vorzusehen. Es existiert jedoch kein entsprechender Grenzwert (bei schweren Nutzfahrzeugen beträgt der EURO-6-Grenzwert für NH₃ 10 ppm), der eine entsprechende Wirksamkeit sicherstellen würde. Bevor die Nachrüstung als Maßnahme eingesetzt werden kann, muss sichergestellt werden, dass keine Verschiebung von NO_x zu aktuell nicht-limitierten Schadstoffen wie z. B. Ammoniak stattfindet. Technisch ist dies, wie von Twintec nach eigener Aussage aktuell praktiziert, durch den Einbau von NH₃-Schlupfkatalysatoren zu verhindern. Auf jeden Fall sollte bei möglichen Messprogrammen zur Überprüfung der Wirksamkeit des Twintec-Systems oder ähnlicher Systeme NH₃ als nicht-limitierter Schadstoff mitgemessen werden. Die Einführung eines Grenzwertes für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge gilt es zu prüfen.

Reduzierung der NO_x-Emissionsfaktoren insbesondere im innerstädtischen Umfeld

Die verbesserte Wirksamkeit des BNO_x-Systems resultiert aus der Absenkung der minimal für die katalytische Reaktion benötigten Abgastemperatur von 190 °C auf 140 °C. Das Abgastemperaturprofil eines Euro-5-Diesel-Pkw im Stadtabschnitt des NEFZ erreicht während weniger als 33% der Testperiode eine Temperatur von 140 °C⁴. Realere Szenarien in der Stadt mit Ampelstopps, Staus und viel Stop-and-Go-Anteilen suggerieren noch geringere Abgastemperaturen in Städten. Der ADAC berichtet von einer reduzierten Aktivität der serienmäßigen Start-Stopp-Anlage aufgrund der höheren Belastung der Lichtmaschine. Dieser Nebeneffekt begünstigt die Erhaltung der Systemtemperatur der Abgasreinigungskomponenten, führt aber zu höheren Kraftstoffverbräuchen und CO₂-Emissionen.

³ Annahmen: NO₂/NO_x = 0,2; (NH₂)₂CO ⇌ 2 NH₃ 100% Konversion; nur Fast-SCR-NO_x-Reduktion

⁴ Quelle: Waldhelm, A. et al.; Aktives Temperaturmanagement in SCR-Systemen – Anwendungsmöglichkeiten und Betriebsstrategien des elektrisch beheizbaren Katalysators EmiCat®. 5. Emission Control. Dresden; 2010

Aktuelle Messergebnisse der DUH und des ADAC bestätigen, dass das BNO_x-System der Firma Twintec für den getesteten Prototypen VW Passat zu einer erheblichen Minderung der NO_x-Emissionen von bis zu 95% bei WLTC- (Warmstart) und PEMS-Messungen führt. Ein Vergleich eines Diesel-Pkw mit BNO_x-System und einem gut auf RDE ausgelegten Diesel-Pkw eines Fahrzeugherstellers mit „klassischer“ SCR-Abgasnachbehandlung steht noch aus. Zudem wurde das System bisher nur in einem Prototypen verbaut. Es sollte daher kurzfristig auch der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des BNO_x-Systems bzw. vergleichbarer Systeme bei anderen Fahrzeugherstellern und -modellen gerade auch im realen Betrieb auf der Straße durch RDE-konforme PEMS-Messungen erbracht werden.

Kosten

In vielen Veröffentlichungen wurden Kosten für das BNO_x-System in Höhe von 1.500 Euro genannt. Nach Auskunft von Twintec umfasst diese Kostenkalkulation allerdings nur die reinen Anschaffungskosten der Bauteile ohne Einbau des Systems und ohne Mehrwertsteuer. Zudem setzt diese Kostenkalkulation voraus, dass Original-VW-Ersatzteile verwendet werden können (v. a. SCR-Katalysator). Unter Berücksichtigung von Einbaukosten und Mehrwertsteuer dürfte die Kosten für das System eher zwischen 2.000 und 2.500 Euro – im Einzelfall noch höher. Damit liegen die Kosten im unteren Bereich des Kostenschätzungen von SCR-Nachrüstsysteme, der bereits auch im erwähnten UBA-Fachgespräch für Pkw genannt wurde. Die Firma Twintec gibt zudem selbst auf Ihrer Internetseite an, dass die Kosten für das BNO_x-System rund 2.000 Euro betragen.⁵ Um belastbarere Daten zu den Kosten einschließlich Einbau zu erhalten, wäre es zwingend geboten, Fahrzeugmodelle anderer Hersteller mit diesem oder analogen Systemen auszurüsten. Der Einbau entsprechender Systeme bei anderen Pkw-Modellen könnte somit sowohl verlässlichere Daten zur NO_x-Minderung als auch zu den Kosten liefern. Diese Erprobung sollte umgehend erfolgen, da hohe NO_x-Minderungen bei der gesamten Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte allein durch Software-Updates nicht erreichbar sein werden und Nachrüstungen der Fahrzeuge notwendig machen werden (siehe Kapitel 2).

Grenzwert und Überprüfungsansatz für Nachbesserungs- und Nachrüstmaßnahmen

Die Wirksamkeit der Emissionsminderungsmaßnahmen an der Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte, unabhängig ob mittels Nachbesserung und/oder Nachrüstung erreicht, müssen von offizieller Seite geprüft und von jedem Hersteller für jeden Fahrzeugtyp nachgewiesen werden. Inwieweit Typenfamilien gebildet werden können, kann nach aktuellem Sachstand nicht bewertet werden. Ein Ansatz wäre, die Familienbildung aus der Typgenehmigung abzuleiten. Als Referenzzustand vor der Minderungsmaßnahme ist der mittlere Flottenemissionsfaktor für die durchschnittliche Fahrsituation aus dem HBEFA Version 3.3 anzusetzen. Dieser entspricht bestmöglich einer realen mittleren NO_x-Emission. Von einem realen Emissionsniveau ausgehend, soll auch die Minderung im praktischen Betrieb durch RDE-konforme PEMS-Messungen nachgewiesen werden.

Modellierungen der TU Graz attestieren den Phasen Low, Medium und High des WLTC bei 20 °C im Warmstart eine realistische Abbildung des Stadtverkehrs. Der High-Teil wird

⁵ Siehe <http://baumot.twintecbaumot.de/produkte/bnox-scr-system/>.

vorgeschlagen, um höhere Lasten durch innerstädtische Steigungen abzubilden. Die Experten der TU Graz um Prof. Stefan Hausberger erachten daher diesen Fahrzyklusabschnitt auf dem Rollenprüfstand als tauglich für die Überprüfung der Wirksamkeit der NO_x-Minderungsmaßnahmen. Zusätzlich fordern sie eine Überprüfung der Grenzwerteinhaltung bei 10 °C zur Demonstration der Temperaturstabilität der NO_x-Minderungsmaßnahmen. Andere Experten der Hochschule Heilbronn empfehlen im Rahmen der Diskussionen, dass eine Überprüfung der Werte auch mit PEMS-Messungen im Last-/Drehzahlkollektiv der oben genannten WLTC Phasen durchgeführt werden sollte.

Das Umweltbundesamt erachtet eine Überprüfung allein mittels Rollenprüfstand angesichts der in der Vergangenheit festgestellten hohen Abweichungen zwischen NO_x-Emissionsmessungen im Labor und im praktischen Betrieb als unzureichend. Es wird eine Überprüfung der nachgerüsteten und/oder nachgebesserten Fahrzeuge im praktischen Betrieb unter RDE-nahen bzw. RDE-konformen Bedingungen empfohlen. Außerdem ist eine Emissionsstabilität auch unterhalb von 10 °C notwendig. Die mittlere Temperatur der verkehrsbelasteten Morgen- und Abendstunden unterschreiten die Jahresmitteltemperatur (z. B. Stuttgart 10,5 °C) mitunter deutlich. Nach HBEFA werden zudem rund 50% der Pkw-Fahrleistung in Deutschland im Jahresdurchschnitt bei Temperaturen unter 10 °C erbracht.

Die Festlegung eines technikneutralen Grenzwertes für emissionsgeminderte Dieselfahrzeuge der Euro-5-Flotte ist einheitlich und übergreifend sinnvoll, auch wenn die erzielte Wirkung an einzelnen Standorten verschieden sein wird. Um nennenswerte Verbesserungen der NO₂-Immissionssituation zu erreichen (siehe Kapitel 5 zur Immissionsprognose), sind NO_x-Minderungen der Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte im praktischen Betrieb in der Größenordnung von 50% sinnvoll und notwendig. Dies ist ein anspruchsvolles, aber durchaus realistisches Ziel. Zu dessen Erreichung ist allerdings sowohl eine Software-seitige Nachbesserung als auch eine Hardware-seitige Nachrüstung mit SCR-Systemen an einem hohen Anteil der Flotte notwendig. Ohne Einbindung der Fahrzeughersteller sind allerdings Flottenminderungen von 50% und mehr nicht realistisch.

Es ist ohne Einfahrregulierung für schadstoffbelastete Standorte nicht zu erwarten, dass entsprechend viele Fahrzeuge nachgebessert und nachgerüstet werden. Mögliche Einfahrtverbote in Umweltzonen können an Stelle von Nachbesserung und Nachrüstung von Einzelfahrzeugen prinzipiell auch von Herstellerflottenminderungen abhängig gemacht werden. In diesem Fall würde nicht jedes Einzelfahrzeug die notwendige NO_x-Minderung (z. B. 50%) erbringen müssen, sondern der Durchschnitt aller Euro-5- oder Euro-6-Diesel-Pkw eines Herstellers. Im Folgenden werden zwei mögliche Alternativvorschläge beschrieben, wobei entweder nur der Vorschlag A oder Vorschlag B umgesetzt werden könnte. Dem Hersteller sollte die Wahl gelassen werden, die Minderung durch Einzelfahrzeuge (Vorschlag A) oder durch seine Diesel Flotte nachzuweisen (Vorschlag B).

Vorschlag A: Grenzwert für alle einfahrtberechtigten Einzelfahrzeuge

Bei Vorschlag A wären im praktischen Betrieb für Euro-5 Diesel Pkw ein Grenzwert von 450 mg NO_x/km (ca. Halbierung des aktuell publizierten durchschnittlichen HBEFA 3.3-Emissionsfaktors) einzuhalten. Wird dieser nicht nachgewiesen (im Rahmen der Genehmigung oder einer Überprüfung in Betrieb befindlicher Fahrzeuge), so könnte es alternativ – analog zur Norm Euro 6dTEMP – durch Applikation eines Konformitätsfaktors von 2,1 einen Grenzwert im WLTC-Zyklus von 214 mg NO_x/km geben. Für Euro 6(c) Diesel Pkw gilt einen Grenzwert von 250 mg NO_x/km im praktischen Betrieb (entspricht ebenfalls

etwa eine Halbierung gegenüber HBEFA 3.3). Auch hier ist der Pfad über einen applizierten Konformitätsfaktor (CF: 2,1) und Nachweis im WLTC-Zyklus von 119 mg NO_x/km denkbar.

Auf diese Weise nachgebesserte oder nachgerüstete Fahrzeuge (Typ-Ebene) sollten von großräumigen Einfahrverboten ausgenommen werden, sofern diese nicht alle Dieselfahrzeuge betreffen oder an zukünftigen RDE-Regelungen festgemacht werden. Für Euro 4 besteht die Möglichkeit, dass diese bei Nachweis der Einhaltung der Euro-5-Anforderung im praktischen Betrieb im typgenehmigten Zustand, d.h. ohne Nachrüstung und Nachbesserung, die gleiche Kennzeichnung erhalten.

Vorschlag B: Herstellerflottengrenzwert und zusätzlicher weniger anspruchsvoller Grenzwert für Nachbesserung und Nachrüstung auf Einzelfahrzeugebene

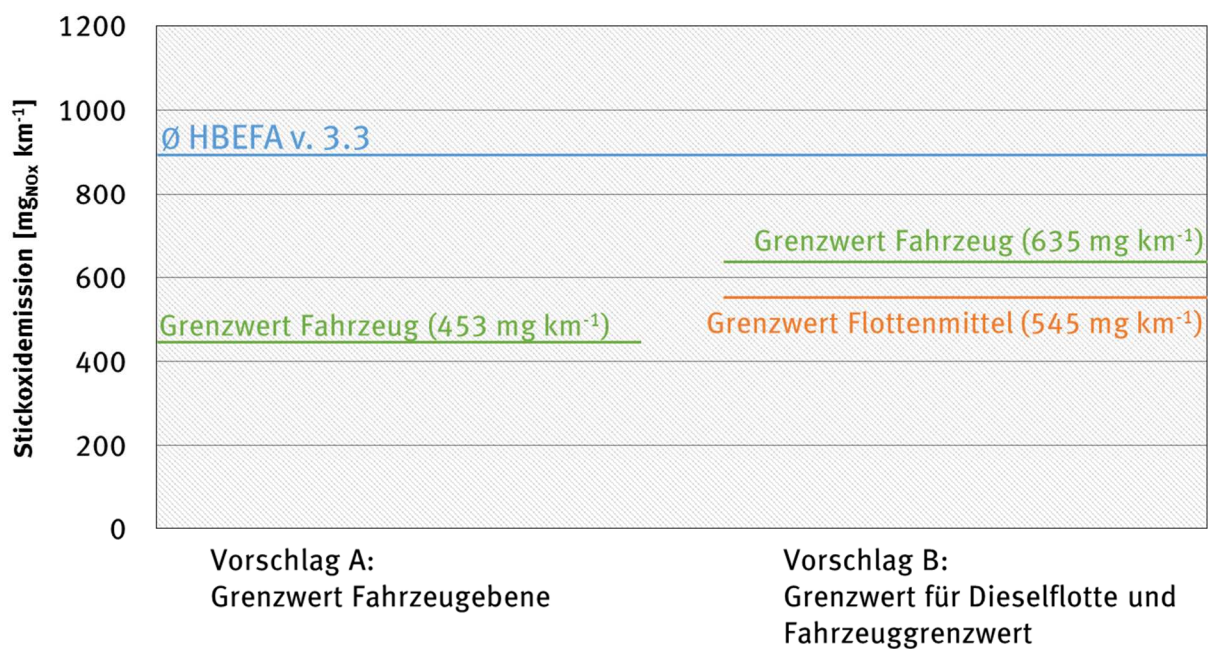
Der Grenzwert für das Einzelfahrzeug ist im Vergleich zu Vorschlag A hier weniger ambitioniert; dafür wird ergänzend ein NO_x-Grenzwert für die jeweilige Diesel-Pkw-Flotte (Euro 5/Euro 6) festgelegt. Dieser Vorschlag dürfte in einer höheren Flottendurchdringung resultieren. Für das Szenario, dass nicht-geminderte Euro-5-/Euro-6-Diesel-Pkw an den betroffenen Standorten nicht an der Einfahrt gehindert werden, ergibt sich damit effektiv eine höhere NO_x-Minderung. Gleichzeitig müssen die Emissionen aller Fahrzeuge der Flotte unter dem HBEFA-Emissionsfaktor (Version 3.3) für Euro-4-Diesel Pkw liegen (674 mg NO_x/km).

Im Vorschlag B müsste die Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte durch Nachrüstung, Nachbesserung oder Originalfahrzeuge ein zulassungsgewichteter Flottenmittelwert im praktischen Betrieb auf der Straße von 545 mg NO_x/km nachgewiesen werden (260 mg NO_x/km für WLTC Nachweis). Der Emissionswert im praktischen Betrieb entspricht einer Minderung von 40% gegenüber dem HBEFA-Wert von Euro-5-Diesel-Pkw (Version 3.3). Alle Einzelfahrzeuge der Flotte müssen Emissionen zudem unter 635 mg NO_x/km im praktischen Betrieb nachweisen (alternativ 303 mg NO_x/km im WLTC), was einer Minderung um 30% gegenüber dem HBEFA-Emissionsfaktor für Euro-5-Diesel-Pkw entspricht. Sind beide Bedingungen erfüllt, so wird die Euro-5-Diesel-Pkw-Flotte des Herstellers von großflächigen Einfahrverboten ausgenommen, sofern diese nicht alle Diesel-Pkw betreffen oder sich an zukünftigen RDE-Regelungen orientieren. Kann der Hersteller dies nicht nachweisen, besteht die Möglichkeit, auf Vorschlag A zurückzugreifen.

Für die Euro-6-Diesel-Pkw-Flotte (Euro 6a, 6b oder 6c) müssten folgende Werte erreicht werden: 304 mg NO_x/km im praktischen Betrieb (145 mg NO_x/km im WLTC) für die Fahrzeugflotte sowie 355 mg NO_x/km im praktischen Betrieb (169 mg NO_x/km im WLTC) für alle ihre Fahrzeugtypen. Euro-6-Diesel-Pkw-Flotten können sich bis September 2019 noch ändern. Der Hersteller muss daher jährlich sicherstellen, dass die Anforderungen durch die Erweiterung der Flotte um neue Fahrzeuge stets erreicht werden.

Euro 5 und Euro 6 werden unabhängig betrachtet. Für Euro-4-Diesel-Pkw besteht die Möglichkeit, dass diese Fahrzeuge bei Nachweis der Einhaltung der Euro-5 Anforderungen (Flotte und Fahrzeugtyp) im praktischen Betrieb im typgenehmigten Zustand, d.h. ohne Nachrüstung und Nachbesserung, die gleiche Kennzeichnung erhalten würden.

Abbildung 1: Übersicht der Euro 5 Diesel Pkw-Grenzwerte für Einzelfahrzeuge und –flotten nach Vorschlag A und B.



Quelle: Umweltbundesamt

Der Vorteil des Vorschlages B ist, dass prinzipiell die Möglichkeit und ein Anreiz besteht, auch Einzelfahrzeuge durch Nachbesserung oder Nachrüstung zu verbessern, die kein für diese Abgasnorm ausreichend geringes Emissionsniveau erreichen (zwischen $453 \text{ mg NO}_x/\text{km}$ und $635 \text{ mg NO}_x/\text{km}$). Im Sinne der Luftreinhaltung wäre dies aber dennoch eine sinnvolle Maßnahme, solange das prinzipielle Konzept eines Einfahrverbotes dadurch nicht ausgehebelt würde. Ein hoher Anteil nachgebesserter Fahrzeuge würde auch in Kommunen wirken, die von der Einführung eines Einfahrverbotes absehen. Andererseits würde in Kommunen mit einem Einfahrverbot (ältere Fahrzeuge und Fahrzeuge mit Emissionen oberhalb des Grenzwertes nach Vorschlag A) durch den Vorschlag B eine Verschlechterung eintreten, da Fahrzeuge einfahren dürften, die sonst ausgeschlossen würden.

Gleichwohl ist ein Nachteil des Vorschlages B die aufwändige Umsetzung, da die Minderung durch den Hersteller sichergestellt werden müsste und viele verschiedene Emissionswerte in eine „Zulassung zur Einfahrt“ für den gesamten Hersteller führen würde. Das würde nicht unter dem Zwang einer Norm erfolgen, sondern durch eine Privilegierung, sodass ein Interesse für belastbare Werte gegeben sein muss.

In Ergänzung könnte ein zweites Anforderungsniveau mit einer strengeren Vorgabe z. B. nur für Euro-6d-Diesel-Pkw oder Pkw mit nachgewiesenen Realemissionen von $120 \text{ mg NO}_x/\text{km}$ eingeführt werden. Das dient dazu, an räumlich eng umgrenzten Standorten mit besonders hohen Belastungen eine Grenzwerteinhaltung auch schon vor 2025 zu erreichen (siehe Kapitel 5). Zusammen mit einem weit ausgedehnten Einfahrverbot anhand der oben detailliert beschriebenen Kriterien gäbe es damit die Möglichkeit, räumlich gestaffelt zu agieren, und böte auch die Flexibilität, Einführungszeitpunkte gezielt festzulegen.

Immissionsprognose

Wie bereits erwähnt haben 143 Messstellen in Deutschland den EU-Grenzwert des Jahresmittelwertes der NO₂-Konzentration (40 µg NO₂/m³) im Jahr 2016 überschritten – bei den verkehrsnahen Messstationen liegen 57% der Werte über den Grenzwert. Die maximal belastete Station registrierte 82 µg NO₂/m³ am Standort „Stuttgart / Am Neckartor“, mehr als das Doppelte des Grenzwertes.

Um Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der NO₂-Belastung zu erhalten, hat das UBA für diesen Bericht Immissionsprognosen bis zum Jahr 2030 von zwei Standorten unter der Annahme einer Referenzentwicklung und verschiedener Minderungsszenarien erstellt. Dabei handelt es sich zum einen um die aktuell am zweitstärksten belastete Station Deutschlands in München (Landshuter Allee, 80 µg NO₂/m³ in 2016) und zum anderen um eine mittelstark belastete Station in Mainz (Parcusstraße, 53 µg NO₂/m³ in 2016). Der Standort in München ist durch ein besonders hohes Verkehrsaufkommen extrem NO₂-belastet. Der Standort in Mainz ist ein Grenzfall, welcher mit geeigneten Maßnahmen schon 2020 den Luftqualitätsgrenzwert für NO₂ einhalten könnte. Beide Standorte ähneln sich in der Höhe der Hintergrundbelastung von Stickstoffdioxid. Bei geringerer Gesamtbelastung am Standort Mainz hat diese demzufolge mehr Einfluss auf die zeitliche Entwicklung der Luftbelastung.

Die Szenarien

In der Praxis sind ein Vielzahl von Szenarien aus der Kombination von mittlerer Minderung in der Flotte und Flottendurchdringungsgrad denkbar. In allen im Folgenden betrachteten Szenarien wird eine erreichte Minderung, egal ob durch Nachbesserung oder Nachrüstung, von im Mittel 50% des HBEFA-Emissionsfaktors angenommen (Version 3.3). Der Flottendurchdringungsgrad der 50%-Minderung wird in allen Szenarien tendenziell hoch mit 80% veranschlagt. Die verbleibenden Fahrzeuge, sofern nicht von der Einfahrt ausgeschlossen (Szenario 3 und 4), werden zur Berechnung weiter entsprechend dem HBEFA 3.3-Emissionsfaktoren berücksichtigt.

Die modellierten NO₂-Immissionsprognosen umfassen zusätzlich zur Referenzentwicklung (reine Flottenerneuerung) die folgenden vier Maßnahmenzenarien:

1. Euro-5-Diesel-Pkw werden um 50% gemindert (Flottendurchdringung / FD 80%);
2. Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw werden um 50% gemindert (FD jeweils 80%);
3. Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw werden um 50% gemindert (FD jeweils 80%) und Euro-4-Diesel-Pkw werden ausgeschlossen;
4. Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw werden um 50% gemindert (FD jeweils 80%), Euro-4-Diesel-Pkw und nicht nachgebesserte Euro-5- und Euro-6-Diesel-Pkw werden ausgeschlossen.

In Szenario 3 und 4 werden ausgeschlossene Fahrzeuge durch die verbleibende Pkw-Bestandsverteilung ersetzt.

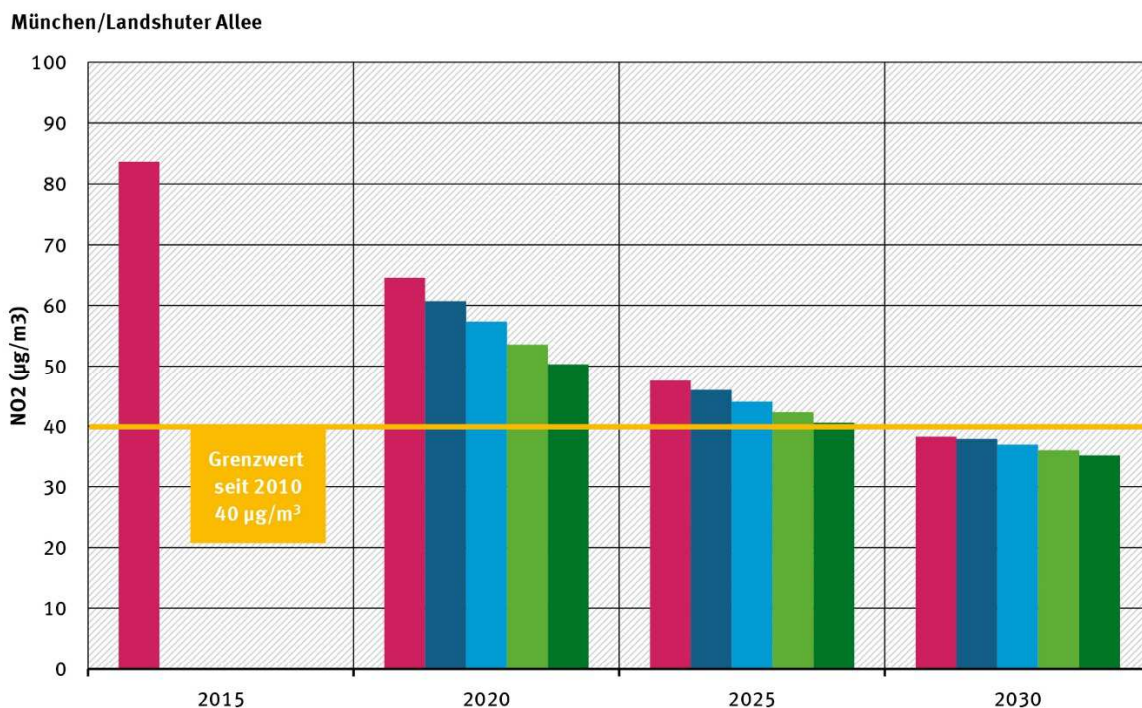
Ergebnisse und Bewertung

Die Zeitverläufe der Jahresmittelwerte für NO₂ sind für die oben genannten Szenarien in Abbildung 2 für beide Standorte dargestellt. Am Standort Landshuter Allee führt das restriktivste Szenario 4 trotz einer deutlichen absoluten Minderung nicht zur Einhaltung der NO₂-Immissionsgrenzwerte vor 2025. Am Standort Parcusstraße hingegen führt das

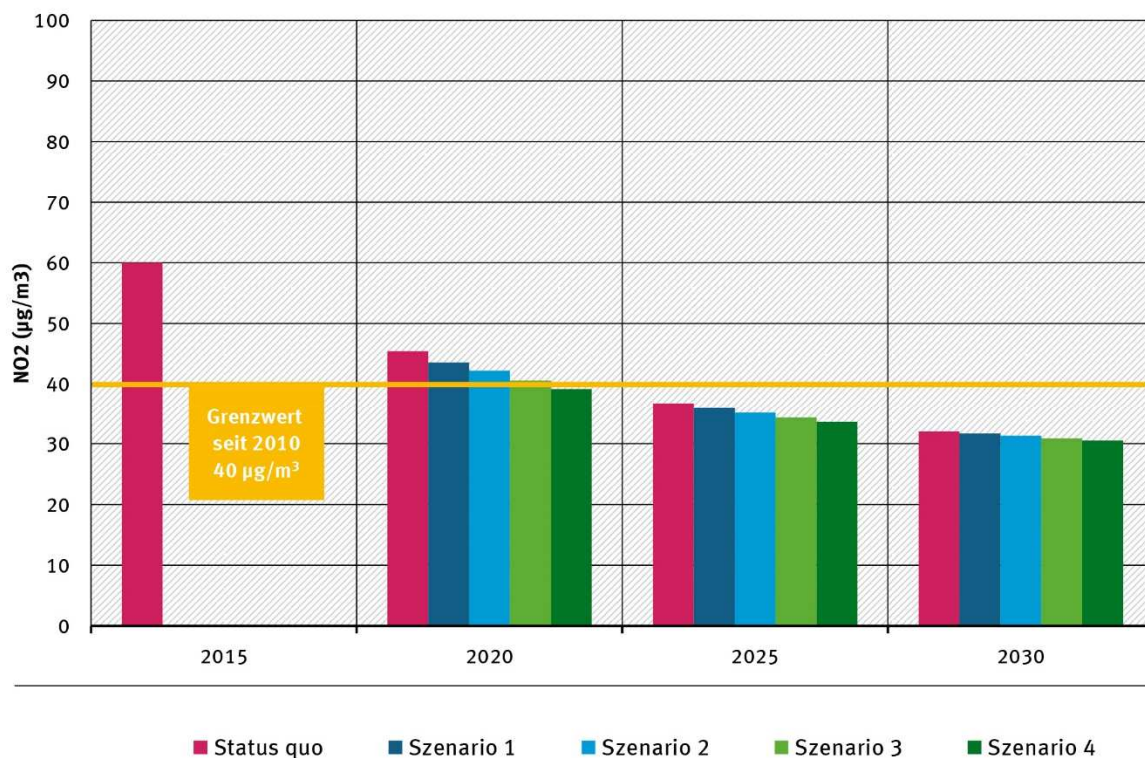
Referenzszenario mit der reinen Flottenerneuerung bereits zwischen 2020 und 2025 zur Einhaltung der EU-Jahresgrenzwerte. Mit Szenario 4 lässt sich in Mainz allerdings bereits im Jahr 2020 eine Minderung der NO₂-Immission unter den Grenzwert erreichen.

Im Folgenden wird die Bedeutung des Minderungsverhaltens an der Parcusstraße für die Anzahl der grenzwertüberschreitenden Messstellen in Deutschland betrachtet. Im Jahr 2016 überschritten 124 Messstationen ebenfalls den Jahresgrenzwert für NO₂ bis zum Niveau der Mainzer Station ($40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3 < \text{Jahresmittelwert NO}_2 \leq 53 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$). Unter der Annahme eines ähnlichen zeitlichen Verlaufs (unabhängig von Hintergrundkonzentration, Bebauungs- und Verkehrssituation) an diesen Standorten würden, mit Anwendung der Maßnahmen aus Szenario 4, rund 87% der derzeit grenzwertüberschreitenden Messstellen den Immissionsgrenzwert bereits im Jahr 2020 einhalten können. Absolute Werte der vorliegenden Modellrechnung sind jedoch mit Unsicherheiten in der Prognose der Hintergrundbelastung behaftet, deren Höhe im Umfang dieser Bewertung nicht eindeutig bestimmt werden kann. Um hierzu verlässlichere Aussagen treffen zu können, müsste die Hintergrundbelastung auf Basis von Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.3 berechnet werden.

Abbildung 2: Modellierter Jahresmittelwert der NO₂-Konzentration für das Referenz- und vier Minderungsszenarien am Standort München/Landshuter Allee und Mainz/Parcusstraße.



Mainz/Parcusstraße



Quelle: Umweltbundesamt

Große Teile der Minderung der Szenarien 3 und 4 resultiert aus der angenommenen Kompensation ausgeschlossener Diesel-Pkw mit Bestands-Pkw und damit Benzinfahrzeugen. Ein möglicher durch Fahrzeugausschluss initiiertes zusätzlicher Umstieg auf andere Verkehrsträger wird hier nicht betrachtet, führt jedoch zu einer zusätzlichen Entlastung.

Beschreibung der methodischen Vorgehensweise am Beispiel des Standortes Landshuter Allee

Die Ergebnisse zur NO₂-Immissionsentwicklung an der Landshuter Allee sind methodisch aus dem PAREST-Projekt⁶ abgeleitet. Die dort verwendete Methode erlaubt vereinfachte Abschätzungen der zu erwartenden Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentration für einzelne Straßenabschnitte. Hierbei wird die urbane Hintergrundbelastung mit der verkehrsbedingten Zusatzbelastung kombiniert; Erstere ist in der Regel deutlich geringer als Letztere.

Als Hintergrundbelastungen für die Jahre 2010 und 2015 wurden die Messungen der Hintergrundmessstation München Lothstraße verwendet, die sich räumlich sehr nah an der Station Landshuter Allee befindet. Die Prognosedaten 2020 bis 2030 zur urbanen Hintergrundbelastung wurden aus Modellrechnungen mit einer Gitterweite von 7 x 8 km² auf Basis des Emissionsszenarios APS (Aktuelle-Politik-Szenario) aus dem Projekt LUFT 2030 übernommen, in denen allerdings noch keine Euro 6d-TEMP- und 6d-Einführung mit entsprechenden CF-Werten berücksichtigt wurde. Für Pkw und LNF der Norm Euro 6 ohne die quantitativen RDE-Anforderungen (Euro 6a-c) wurden für das APS die Emissionsfaktoren aus der HBEFA-Version 3.1 übernommen. Weitere Details zur Berechnung der

⁶ Vgl. Stern, R. (2013): Prognose der Luftqualität und Abschätzung von Grenzwertüberschreitungen in Deutschland für die Referenzjahre 2010, 2015 und 2020.

Verkehrsemissionen im APS können dem Endbericht des Projektes LUFT 2030 (Seite 72-78) entnommen werden. Da die Modellwerte bei der o. g. Gitterweite tendenziell die urbane Hintergrundbelastung unterschätzen, wurde aus dem Vergleich zwischen Modell und Messung für die Jahre zwischen 2010 und 2015 ein Korrekturfaktor abgeleitet und auf die Prognosedaten angewendet. Zur Ableitung der Hintergrundbelastung an der Landshuter Allee wurde der Konzentrationswert der Gitterzelle zu Grunde gelegt, in der sich die Station befindet.

Die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Prognosejahr wird auf Basis der aus dem Verkehrssektor stammenden NO_x -Emissionen im Prognosejahr und im Referenzfall sowie der Zusatzbelastung im Referenzfall abgeschätzt. Als Referenzfall für diese Untersuchung wurde der Mittelwert der Verkehrsemissionen und der Zusatzbelastungen in den Jahren 2010 und 2015 verwendet.

In der PAREST-Methode für die Bestimmung der Zusatzbelastung wird zwischen dem luftchemisch gebildeten und dem direkt emittierten Anteil an der NO_2 -Zusatzbelastung unterschieden. In der PAREST-Studie wurden diese Anteile zu je 50% angenommen. Sie wurden aus einer früheren Untersuchung für eine Station in Stuttgart abgeleitet. Für die Landshuter Allee wurde aus Messungen abgeschätzt, dass der luftchemisch gebildete Anteil ca. 43% und der direkt emittierte Anteil ca. 57% der NO_2 -Zusatzbelastung betragen.