



clean air



SAUBERE BUSSE IM ÖPNV – EIN LEITFADEN FÜR AUFGABENTRÄGER UND VERKEHRSUNTERNEHMEN



DER ÖPNV – UNVERZICHTBAR FÜR GUTE LUFTQUALITÄT

Der öffentliche Personennahverkehr spielt für Städte und Kommunen und deren Bewohner in vielerlei Hinsicht eine wichtige Rolle. Für viele ist er die Alternative zum eigenen Auto und ermöglicht so eine selbstbestimmte Mobilität – und das auch noch leiser und sicherer. Gleichzeitig ist der ÖPNV im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr (MIV) wesentlich ressourcenschonender und somit auch weniger klimaschädigend. Aber auch hinsichtlich der Luftqualität ist der ÖPNV außerordentlich wichtig, denn er hilft, den Ausstoß von Luftschadstoffen durch den Verkehr zu verringern. Deshalb sind die öffentlichen Verkehrsmittel eine wesentliche Säule einer zukunftsfähigen Mobilität.

Dies ist jedoch nur möglich, wenn die Fahrzeuge des Nahverkehrs auch emissionsarm unterwegs sind. Bereits heute fährt ein großer Teil des ÖPNV elektrisch und somit lokal emissionsfrei. Straßenbahnen, U-Bahnen oder S-Bahnen sind für mehr als die Hälfte aller Fahrten im ÖPNV verantwortlich (Quelle: VDV-Jahresstatistik 2012). Jedoch besteht bei Bussen noch Nachholbedarf, denn ihr Ausstoß an Partikeln und Stickoxiden hat einen wesentlichen Anteil an den Luftproblemen in Städten.

Mit Hilfe dieses Leitfadens erhalten Kommunen und Verkehrsunternehmen nützliche Informationen, wie der Schadstoffausstoß von Bussen gesenkt werden kann. Denn saubere Fahrzeuge sind wichtig für einen attraktiven Nahverkehr und somit ein Garant für lebenswertere Städte. Aus diesem Grund muss der Nahverkehr seine Umweltvorteile nicht nur halten, sondern ausbauen. Nur so wird er im Zusammenspiel mit den anderen Verkehrsmitteln des Umweltverbundes wie Radverkehr, Zufußgehen oder Carsharing seiner großen Bedeutung gerecht.



Schlechte Luft und ihre Folgen

Ist die Atemluft schlecht, stellt das die betroffenen Menschen, aber auch Flora und Fauna, vor große Probleme. Nach Einschätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist die Verschmutzung der Atemluft derzeit die größte umweltbedingte Gesundheitsgefahr. Folgen der ständigen Belastung des Körpers sind Schlaganfälle, Erkrankungen der Herzkranzgefäße, chronische Lungenerkrankungen und Krebs. Dabei spielen zwei Luftschadstoffe, die beim Betrieb von Verbrennungsmotoren entstehen, eine besondere Rolle: Ruß und Stickstoffdioxid.

Europäische Regelung – Luftqualitätsrichtlinie

In der europäischen Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG) sind für eine Reihe von Luftschadstoffen Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt worden. Um diese einzuhalten, haben viele Kommunen Luftreinhaltepläne beschlossen, die verschiedene Maßnahmen, vor allem aus dem Verkehrsbereich, beinhalten. Doch nach wie vor stellen die Grenzwerte viele Kommunen vor große Probleme.

| | Mittel über | PM ₁₀ | NO ₂ | PM _{2,5} |
|----------------|-----------------------|---|---|----------------------|
| ab 1.1.2005 | 24 h 1 Jahr | 50 µg/m ³ ⁽¹⁾ 40 µg/m ³ | - - | - - |
| ab 1.1.2010 | 24 h 1 h 1 Jahr | 50 µg/m ³ ⁽¹⁾ 40 µg/m ³ | - 200 µg/m ³ ⁽²⁾ 40 µg/m ³ | - - - |
| ab 1.1.2015 | 1 Jahr | - | - | 25 µg/m ³ |
| ab 1.1.2020 | 1 Jahr | - | - | 20 µg/m ³ |

(1) Nicht mehr als 35 Überschreitungstage/Jahr

(2) Nicht mehr als 18 Überschreitungstage/Jahr

Ruß ist ein Schadstoff, der zum großen Teil bei der Verbrennung von Dieselmotoren anfällt und einer der Bestandteile von Feinstaub (PM₁₀) ist. Die Weltgesundheitsorganisation hat Dieselmotoren als krebserregend eingestuft. Feinstaub und somit der Ruß wird beim Atmen aufgenommen. Während größere Partikel (PM₁₀) häufig in den Nasenhöhlen aufgefangen werden, können die kleinen Teilchen (PM_{2,5}) bis in die Bronchien und Lungenbläschen vordringen. Ultrafeine Partikel (PM_{0,1}) gelangen sogar bis in den Blutkreislauf. Von ihrer Größe und der chemischen Zusammensetzung hängt es ab, wie gefährlich sie für die menschliche Gesundheit werden können. Größere Partikel führen zu Atemwegserkrankungen und verschlechtern die Lungenfunktion, kleinere Partikel erhöhen das Risiko für Lungenkrebs und für Herzinfarkte. Neben den gesundheitlichen Auswirkungen ist Dieselmotorenruß auch noch klimawirksam: Setzt er sich beispielsweise in der Arktis auf Eisflächen ab, schmelzen diese schneller ab.

Stickoxide schädigen Menschen, Tiere, die Vegetation und das Klima. Für die menschliche Gesundheit besonders relevant ist Stickstoffdioxid (NO₂). Es wird über die Atemluft aufgenommen und gelangt bis tief in die Lungen. Dort beeinträchtigt es die Lungenfunktion, führt zu Reizungen der Schleimhäute oder Infektionen. Ist man längerfristig übermäßigen Konzentrationen von Stickstoffdioxid ausgesetzt, kann dies zu chronischem Husten, Bronchitis und Asthma führen. Laut wissenschaftlichen Studien gibt es einen Zusammenhang zwischen hohen NO₂-Konzentrationen und einer überdurchschnittlichen Gesamtsterblichkeit oder der Häufigkeit von Krankenhausaufnahmen.

Luftqualität in Deutschland

Die Weltgesundheitsorganisation geht davon aus, dass in Deutschland jedes Jahr rund 47.000 Personen vorzeitig aufgrund schlechter Luftqualität sterben. Sie ist das bedeutendste Umweltisiko. Obwohl in Deutschland in den letzten Jahren die Belastung mit Feinstaub, unter anderem in Folge der Einführung oder Verschärfung von Umweltzonen, zurückgegangen ist, sind noch immer insbesondere an verkehrsnahen Messstationen Überschreitungen der zulässigen PM_{10} -Grenzwerte gemäß Luftqualitätsrichtlinie festzustellen. Noch gravierender ist die Situation bei Stickstoffdioxid. Entsprechend einer Auswertung des Umweltbundesamtes wurde 2013 an rund zwei Dritteln der städtischen verkehrsnahen Stationen der NO_2 -Jahresmittelwert von $40 \mu g/m^3$ überschritten.¹ Im Vergleich dazu wurde bei weniger als fünf Prozent der Messstationen im städtischen Hintergrund der Grenzwert überschritten. Dies beweist, dass der Verkehr für Stickstoffdioxid die bedeutendste lokale Quelle ist.

EMISSIONEN VON BUSSEN – EIN UNTERSCHÄTZTES PROBLEM

Bedeutung der Stadtbusse für die Luftqualität

Der Verkehr ist neben anderen Quellen wie Industrie, Handwerk oder Hausfeuerung einer der bedeutendsten Verursacher von Luftschadstoffen in Städten. Doch neben Pkw und Nutzfahrzeugen, die bekanntermaßen einen großen Anteil an den Emissionen haben, werden die Busse des ÖPNV häufig unterschätzt. Denn obwohl sie einen, verglichen mit Pkw und Lkw, geringen Anteil an der Jahresfahrleistung ausmachen, ist ihre Bedeutung für die Luftqualität immens. Für die Stadt Düsseldorf betrug 2010 der Anteil der Busse nur 0,4 Prozent an der Jahresfahrleistung, sie waren aber für 5,7 Prozent der Stickoxid- und 2,4 Prozent der PM_{10} -Emissionen des gesamten Kraftfahrzeugverkehrs verantwortlich.²

Betrachtet man nicht nur die Gesamtemissionen, sondern speziell die Bedeutung der Busse für stark frequentierte Straßen innerhalb der Stadt, wird das Bild noch eindeutiger. So wurden für Berlin die durch den Busverkehr erzeugten Zusatzbelastungen von Stickoxiden an verschiedenen Punkten innerhalb der Stadt erfasst.³ An Straßen mit geringem Busanteil, z. B. in der Frankfurter Allee mit 0,1 Prozent, ist auch der Anteil an den verkehrsbedingten Zusatzbelastungen von Stickoxiden relativ gering. Mit rund zwei Prozent ist aber auch hier der Busanteil an den Schadstoffemissionen überdurchschnittlich.

1 Umweltbundesamt: Luftqualität 2013, Vorläufige Auswertung, Dessau-Roßlau

2 Bezirksregierung Düsseldorf: Luftreinhalteplan Düsseldorf 2013

3 Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, Vortrag von Martin Lutz im Rahmen des Runden Tisches „Saubere Busse“ am 26.3.2013

Mit steigendem Busanteil steigt aber auch signifikant der Anteil an den NO_x-Emissionen. So beträgt der Busanteil in Alt-Moabit 1,9 Prozent, diese sind aber schon für 30 Prozent der verkehrsbedingten Zusatzemissionen verantwortlich. Das bedeutet, dass an diesem Standort nicht einmal zwei Prozent der Fahrzeuge vor Ort für knapp ein Drittel der durch den Verkehr verursachten Stickoxidemissionen verantwortlich sind.

Schadstoffausstoß der Busflotte senken

Um den Schadstoffausstoß der Stadtbusse zu senken, haben Verkehrsunternehmen und Kommunen prinzipiell zwei Möglichkeiten. Zum einen können sukzessiv alte durch neue – in der Regel schadstoffärmere – Fahrzeuge der Flotte ausgetauscht werden. Zum anderen kann die bestehende Busflotte mittels Nachrüstung sauberer gemacht werden.



Foto: Danny König / Pixelio

FLOTTENERNEUERUNG

Für die Anschaffung neuer Busse gibt es – neben den Umwelteigenschaften – weitere wichtige Gründe. Die Ansprüche der Fahrgäste an Komfort, Platzangebot oder Barrierefreiheit steigen ständig und sind wichtige Kriterien, ob man den Nahverkehr nutzt oder nicht. Dementsprechend steigern neue und moderne Fahrzeuge, bei denen die Kunden im Sommer in den Genuss einer Klimaanlage kommen oder die mit Bildschirmen für reiserrelevante Informationen in Echtzeit ausgestattet sind, ganz allgemein die Attraktivität des ÖPNV.

Mit den europäischen Abgasvorschriften (EURO-Normen) sind Grenzwerte für verschiedene Schadstoffe festgelegt, die auch von Bussen erfüllt werden müssen. Die derzeit aktuellste Abgasstufe ist EURO VI. Sie gilt seit dem 1.1.2013 für neue Bustypen und seit dem 1.1. 2014 für alle neuen Busse. Wesentliche Änderungen gegenüber EURO V sind der um 80 Prozent niedrigere Grenzwert für Stickoxide und die Verschärfung des Ausstoßes der Partikelmasse um 66 Prozent. Zusätzlich wurde ein Grenzwert für die Partikelanzahl eingeführt, da ultrafeine Partikel besonders gesundheitsschädlich sind.

Neben den verschärften Grenzwerten wurde auch das offizielle Prüfverfahren angepasst und ist nun realitätsbezogener. So wird im neuen Testzyklus der Stadtbetrieb (Niedriglast) stärker berücksichtigt, ebenso fließt eine Kaltstartphase mit ein, bei der die Schadstoffemissionen deutlich höher ausfallen. Eine wichtige Neuerung ist ebenfalls, dass die Schadstoffemissionen nach den offiziellen Prüfstandtests auch bei einer mobilen Messung auf der Straße eingehalten werden müssen. Damit wird kontrolliert, ob die Abgasnachbehandlung funktioniert.



Foto: VCD

Beides zusammen, die Verschärfung der Grenzwerte und das neue Prüfverfahren, führen dazu, dass Busse mit EURO VI auch im Realbetrieb auf der Straße einen deutlich geringeren Schadstoffausstoß aufweisen. Werden also ältere durch Fahrzeuge der neuesten Generation ausgetauscht, verbessert sich die Luftqualität in der Stadt deutlich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Austausch der Busflotte ein längerfristiger Prozess ist. Stadtbusse werden typischerweise zehn bis zwölf Jahren eingesetzt, bevor sie die Flotte verlassen. In Einzelfällen kann die Nutzungsdauer sogar länger sein. Somit wird in der Regel jährlich nur ein kleiner Teil der Flotte durch schadstoffärmere Fahrzeuge ersetzt, wodurch die Effekte auf die Gesamtemission der Busflotte entsprechend niedriger ausfallen. Werden solche Busse gezielt ausgetauscht, die in besonders belasteten Gebieten fahren, ist der Effekt dort selbstverständlich bedeutend größer.

Realemissionen von Bussen

Die weitreichenden Änderungen bei EURO VI, vor allem das Testverfahren betreffend, resultieren auch aus Problemen mit den vorherigen Abgasstufen. Zwar wurden auch bei EURO IV und EURO V kontinuierlich die Grenzwerte der Luftschadstoffe verschärft, doch hat dies nicht immer zu den gewünschten Effekten geführt. Die Messung und Überprüfung der Abgaswerte erfolgte bei Bussen mit Hilfe eines festgelegten Testverfahrens auf einem Motorenprüfstand. Problematisch ist dabei, dass dieses Testverfahren den typischen Einsatz eines Stadtbusses mit seiner geringen Durchschnittsgeschwindigkeit und den vielen Wartephase an Ampeln und Haltestellen nur unzureichend widerspiegelt. So ist die Abgastemperatur im Realbetrieb in der Regel deutlich niedriger als beim offiziellen Testverfahren. Die Folge ist, dass SCR-Systeme, die den Stickoxidausstoß senken sollen und eine bestimmte Abgastemperatur zum effektiven Betrieb benötigen, teilweise nicht richtig funktionieren. Demzufolge liegt der tatsächliche Stickoxidausstoß deutlich höher als zulässig.

ALTERNATIVE ANTRIEBE IM ÖPNV

Neben klassischen Dieselmotoren gibt es auch Busse mit alternativen Antrieben. Bereits seit vielen Jahren werden Busse mit Erdgasantrieb (CNG – Compressed Natural Gas) verwendet. Bei diesen entstehen bei der Verbrennung fast kein Feinstaub und nur wenig Stickoxide, zudem sind sie in der Regel leiser als Dieselsebusse – aus Umweltsicht also ein echte Alternative. Weitergehende Informationen zu Erdgasbussen unter www.erdgas-mobil.de

Relativ neu sind Hybridbusse, bei denen der Verbrennungsmotor durch einen Elektroantrieb unterstützt wird. Die dafür notwendige Batterie wird zum Beispiel beim Bremsvorgang aufgeladen (Rekuperation) und kann den Dieselmotor beim Beschleunigen unterstützen. So sinken Schadstoff-, Lärm und CO₂-Emissionen. Die Anschaffung von Hybridbussen wird teilweise gefördert. Weitere Informationen unter www.erneuerbar-mobil.de/de

Mehrere Untersuchungen von Bussen im realen Straßenbetrieb kommen so zu teils alarmierenden Ergebnissen. Im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen wurden Busse mit verschiedenen Emissionsstandards und Abgasreinigungstechniken auf realen Buslinien in der Stadt Hagen getestet.⁴ Dabei zeigte sich, dass ein Bus mit dem Abgasstandard EEV (serienmäßig mit SCR und Partikelfilter ausgestattet) im Mittel von sechs durchgeführten Fahrten 10,34 g/kWh NO_x ausstößt. Der offiziell zulässige Grenzwert liegt bei 2 g/kWh; er wird also um mehr als das Fünffache übertroffen. Bei Fahrten mit überdurchschnittlich vielen Stopp- und nur geringen Beschleunigungsanteilen lag der NO_x-Ausstoß noch einmal deutlich höher. Denn unter solchen Bedingungen kühlt sich das Abgassystem des Busses ab und die SCR-Anlage funktioniert deshalb nicht wie vorgesehen.

Die verringerte Funktionsfähigkeit des SCR-Systems kann so weit führen, dass EURO-V-Busse hinsichtlich der Stickoxidemissionen sogar schlechter als serienmäßige EURO III sind. Entsprechende Untersuchungen fanden unter anderem in Berlin statt. So wurden dort ein serienmäßiger EURO-III-Bus und zwei EURO-V-Busse (inkl. SCR) auf einer städtischen Buslinie gemessen. Im Ergebnis hatte der bessere EURO-V-Bus lediglich einen genauso hohen Stickoxidausstoß wie das ältere Fahrzeug, der zweite EURO-V-Bus übertraf diesen sogar um rund 20 Prozent.⁵ Die Ursache ist auch in diesem Fall eine zu geringe Abgastemperatur, die eine wirkungsvolle Funktionsweise des SCR-Systems verhindert.

4 Emissionsverhalten von Linienbussen – Teil 3; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; Recklinghausen 2009

5 Abgasemissionsmessungen an mit SCRT®-Systemen nachgerüsteten Bussen im Vergleich zu Serienfahrzeugen auf ausgesuchter Streckenführung in Berlin; TÜV NORD, 2011

SAUBERE BUSSE IN DER PRAXIS – BEISPIEL LONDON

In London ist eine der größten Busflotten der Welt unterwegs. Transport for London (TfL) ist verantwortlich für mehr als 8.000 Busse auf rund 700 Linien mit fast 20.000 Haltepunkten, die an einem Werktag mehr als 6 Mio. Menschen befördern. Aufgrund zunehmender Luftqualitätsprobleme wird seit den 90er Jahren bei Stadtbussen konsequent an der Reduzierung des Schadstoffausstoßes gearbeitet. So wurden alle EURO-II- und EURO-III-Busse mit **Partikelfiltern** nachgerüstet, insgesamt mehr als 6.500 Fahrzeuge. Für neue Busse waren serienmäßige Partikelfilter frühzeitig Pflicht. Durch diese Maßnahmen sank der Ausstoß von PM_{10} in der Londoner Busflotte zwischen 1997 und 2013 von rund 200 t/Jahr auf 17 t/Jahr.

Nach wie vor ist **Stickstoffdioxid** jedoch ein großes Problem. Um dieses aktiv zu bekämpfen, wurde 2012 mit der Nachrüstung von rund 900 Busse mit SCRT-Systemen begonnen, die 2014 beendet war.

Um Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch auch im Realbetrieb zu testen, hat TfL zusammen mit dem Unternehmen Millbrook einen eigenen **Testzyklus** entwickelt. Dieser basiert auf einer Londoner Buslinie und wird von jedem neuen Bustyp bzw. nachgerüsteten Fahrzeugen durchfahren. So konnte festgestellt werden, dass die nachgerüsteten SCRT-Systeme im Realbetrieb bis zu 88 Prozent weniger Stickoxide ausstoßen.

Diese Busse, insbesondere die mit EURO-V- beziehungsweise EEV-Standard werden noch viele Jahre in den Busflotten unterwegs sein. Aus diesem Grund sollten Verkehrsunternehmen überprüfen, inwieweit die serienmäßigen Stickoxidsysteme im Realbetrieb funktionieren. In einer funktionierenden SCR-Anlage beträgt der Verbrauch des Reduktionsmittels (AdBlue) etwa 5 Prozent des Kraftstoffverbrauches. Wird weniger AdBlue verbraucht, ist dies ein Hinweis darauf, dass die Abgastemperatur zu niedrig ist, AdBlue nicht eingedüst wird und das SCR-System nicht richtig funktioniert.

Für Kommunen hat es weitreichende Konsequenzen, wenn die serienmäßige Abgasreinigung nicht funktioniert oder bei älteren Fahrzeugen fehlt. Denn durch den nach wie vor hohen Stickoxidausstoß sinkt die Immissionsbelastung in den Städten nicht oder nur langsam. Dadurch wird vor allem die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner ständig gefährdet, und auch die Grenzwerte gemäß der europäischen Luftqualitätsrichtlinie werden nicht eingehalten. Aus diesem Grund müssen Verkehrsunternehmen und Kommunen gemeinsam aktiv werden. So sollten sie sich dafür einsetzen, neuere Fahrzeuge mit mangelhafter Abgasreinigung von den Herstellern nachträglich ertüchtigen zu lassen. Bei Fahrzeugen, die noch längere Zeit eingesetzt werden sollen, ist darüber hinaus die Nachrüstung mit Partikelfiltern oder Systemen zur Reduzierung der Stickoxidemissionen ein effektiver Weg, die Schadstoffbelastung der Busflotte zu senken.

BUSNACHRÜSTUNG

Seit mehreren Jahren werden nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen europäischen und außereuropäischen Ländern Stadtbusse zum Zweck der Schadstoffreduzierung erfolgreich nachgerüstet. Dabei werden je nach Schadstoff verschiedene Technologien angewendet. Während anfänglich vor allem die Reduktion von Dieselruß und Feinstaub im Fokus stand, werden in den letzten Jahren auch vermehrt Nachrüstsysteme zur Verringerung von Stickoxidemissionen eingebaut.

Die Nachrüstung lohnt sich für Busbetreiber aus verschiedenen Gründen:

- ☁ Sauberere Busse sind essenziell zur Erhaltung des **positiven Image** des ÖPNV als umweltfreundliche Form der Mobilität. Der Nahverkehr wird attraktiver und die Verkehrsunternehmen können die Nachrüstung darüber hinaus öffentlichkeitswirksam nutzen.
- ☁ **Planungssicherheit:** Werden Busse durch Nachrüstung sauberer und erhalten eine bessere Schadstoffklasse, sind sie von den Busbetreibern auch bei steigenden Umweltanforderungen (z. B. Einführung oder Verschärfung von Umweltzonen) künftig einsetzbar.
- ☁ Mit der Nachrüstung erhalten die Busse eine **Wertsteigerung**. Sie können besser weiterverkauft werden. Die künftig auch in anderen Ländern steigenden Umweltansprüche an die Fahrzeuge des Nahverkehrs werden dies begünstigen.
- ☁ Der nachträgliche Einbau und die dabei mögliche individuelle Anpassung der Nachrüstsysteme an das jeweilige Einsatzgebiet ermöglichen eine **höchstmögliche Schadstoffminderung** im Realbetrieb. Eine Abstimmung auf die lokalen Einsatzbedingungen (z. B. hohe oder niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit, Topografie des Einsatzgebietes oder Haltestellenabstand) garantiert maximale Reduktionsraten.

Aus Umweltsicht bietet die Nachrüstung von Bussen einen wichtigen Vorteil: Der Schadstoffausstoß wird **sofort gesenkt** und die Luftbelastung somit direkt reduziert. So kann die Luft in besonders belasteten Bereichen von Städten gezielt und vor allem schnell verbessert werden. Denn die stetig strengeren Luftqualitätsanforderungen der Europäischen Union zwingen Kommunen zum sofortigen Handeln. Die allgemeine Flottenerneuerung in durchaus üblichen Intervallen von 8 bis 12 Jahren kann dagegen nur mittel- bis langfristig zur Verbesserung der Luftqualität beitragen.



TECHNOLOGIEN DER BUSNACHRÜSTUNG

Je nach Luftschadstoff werden unterschiedliche Nachrüstlösungen und Technologien angeboten. Zur Reduktion von Partikeln, dazu gehören neben Dieselruß auch weitere Stoffe wie z. B. Asche, werden Partikelfilter verwendet. Diese werden häufig auch als **CRT-Filter** (Continuous Regeneration Trap) bezeichnet. Für die Verringerung der Stickoxidemissionen wird bei der Nachrüstung vor allem die **SCR-Technik** (Selective Catalytic Reduction) verwendet. Beide Systeme sind einzeln nachrüstbar, die Kombination aus beidem bezeichnet man als **SCRT**.

CRT-Partikelfiltersystem

In einem Partikelfilter werden die Abgase mechanisch gereinigt, indem sie eine sehr feine Membran durchströmen. Dabei werden die Partikel zurückgehalten, inklusive der sehr kleinen, ultrafeinen Partikel. Heutzutage sind geschlossene Filter Stand der Technik, da sie bis zu **99 Prozent** aller Partikel zurückhalten. Partikelfiltersysteme werden in Stadtbussen bereits seit vielen Jahren erfolgreich nachgerüstet. So begann Berlin bereits 1999 die ersten Busse mit der Technik auszustatten, da an mehreren Meßstellen in der Stadt massive Grenzwertüberschreitungen von PM_{10} festzustellen waren.

SAUBERE BUSSE IN DER PRAXIS – BEISPIEL MADRID

In Madrid spielt der Busverkehr eine wichtige Rolle hinsichtlich der Luftqualität. Busse machen fast 20 Prozent der durch den Verkehr insgesamt erzeugten Stickoxidemissionen aus. Um Abhilfe zu schaffen, wurden bisher knapp 500 Busse mit SCRT-Systemen ausgerüstet. Auf diese Weise wird der Ausstoß an Partikeln pro Jahr um 10 t, bei NO_x um 500 t reduziert.

Ebenso wurde auch schon frühzeitig auf alternative Antriebe gesetzt. Mittlerweile ist eine der größten Erdgas-Busflotten in Madrid unterwegs. Fast 800 Busse (knapp 40 Prozent aller Busse) laufen mit Erdgas und das verantwortliche Madrider Busunternehmen „Empresa Municipal de Transportes“ (EMT) plant, weitere Fahrzeuge in den Fuhrpark aufzunehmen.

Technische Funktionsweise und Reduktionsraten

Ein CRT-System besteht in der Regel aus zwei Einheiten. Dem eigentlichen Partikelfilter ist ein Oxidationskatalysator vorgeschaltet. Dieser sorgt dafür, dass die Schadstoffe Kohlenwasserstoff (HC) und Kohlenmonoxid (CO) im Abgas abgebaut werden. Zusammen mit den eigentlichen Dieselpartikeln werden so mit Hilfe eines CRT-Systems insgesamt drei gesetzlich reglementierte Luftschadstoffe reduziert. Dieser Effekt kann auch ohne Oxidationskatalysator erreicht werden, wenn der Partikelfilter selbst katalytisch beschichtet ist. Dies geht jedoch zu Lasten der Effektivität, da die Reduktion von HC und CO sowie das Herausfiltern der Partikel auf derselben Oberfläche geschehen muss.

Bei einem geschlossenen Filter durchströmt das komplette Abgas die Filtermembran. So werden mehr als **99 Prozent** aller Partikel unabhängig von ihrer Größe zurückgehalten. Dagegen wird bei einem „offenen“ Filter nur ein Teil des Abgases gefiltert. Dies führt nicht nur zu insgesamt deutlich schlechteren Wirkungsgraden. Problematisch ist auch, dass insbesondere größere Partikel den Filter passieren können. Aus Umwelt- und Gesundheitssicht ist diese Technik deshalb abzulehnen.

Regeneration des Partikelfilters

Im Fahrbetrieb sammeln sich im Partikelfilter die zurückgehaltenen Partikel an. Um ein Verstopfen des Filters zu verhindern, muss dieser regelmäßig gereinigt und von den Rückständen befreit werden. Andernfalls erhöht sich der Abgasgegendruck, der Kraftstoffverbrauch nimmt zu und die Filterleistung sinkt. Bei CRT-Filtern erfolgt die Regeneration passiv, das heißt selbsttätig. Dabei werden durch thermochemische Prozesse während des Betriebes große Teile der gesammelten Partikel verbrannt. Voraussetzung dafür ist, dass das Abgas eine Mindesttemperatur von 250 Grad Celsius erreicht, ohne die eine Regeneration nicht möglich ist.

Obwohl heute im Busbereich selbsttätig reinigende Partikelfiltersysteme nach dem CRT-Prinzip am weitesten verbreitet sind, gibt es auch andere Wege, die gesammelten Partikelrückstände aus dem Filter zu entfernen. Bei der aktiven Regeneration wird durch eine separate Energiezufuhr die Temperatur im Filter auf etwa 600 Grad Celsius erhöht, um so die Partikel mit dem Luftsauerstoff zu verbrennen. Dies ist zum Beispiel mit Hilfe elektrischer Heizelemente oder eines Kraftstoffbrenners möglich.

Auch bei einer optimal funktionierenden passiven Regeneration bleiben im Filter Rückstände übrig, die nicht abgebaut werden können. Aus diesem Grund müssen die Filter regelmäßig ausgebaut und gereinigt werden. Dafür gibt es vollautomatische Reinigungsanlagen, die die bisher noch nicht verbrannten Partikel abbrennen und die nicht verbrennbaren Partikel, z. B. Asche aus dem Motoröl, absaugen oder ausblasen. Wie oft gereinigt werden muss, hängt unter anderem vom Einsatzprofil, Zustand des Motors oder vom Aschegehalt des Motoröls ab und ist etwa alle 60.000 bis 150.000 Kilometer notwendig.

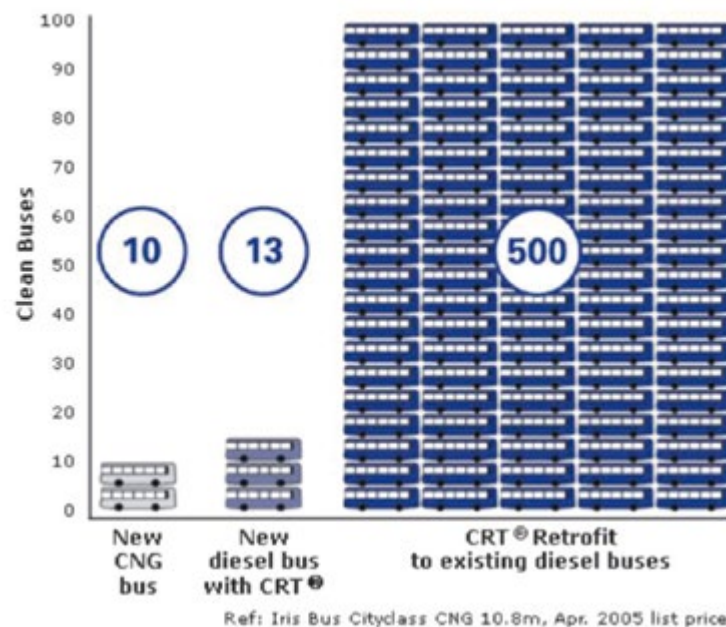


Gereinigter (links) und nicht gereinigter DPF im Vergleich; Foto: VCD

Kosten der Nachrüstung

Die Nachrüstung ist eine im Vergleich zur Neuanschaffung und somit zum Flottenaustausch deutlich preiswertere Möglichkeit, Schadstoffemissionen zu reduzieren. Statt eines neuen Busses können viele bereits vorhandene Busse mit Partikelfiltern nachträglich ausgestattet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine sehr schnelle Durchdringung der Flotte mit Hilfe der Nachrüstung erreicht werden kann, während ein Flottenaustausch bei einer durchschnittlichen Verweildauer von 8 bis 12 Jahren deutlich länger dauert.

Die spezifischen Kosten pro Fahrzeug sind abhängig vom Bustyp und den dafür vorhandenen Nachrüstmöglichkeiten. Die Nachrüstung eines Partikelfilters kostet etwa 5.000 bis 7.500 Euro. Wird ein seltener Bustyp nachgerüstet, für den technologische Sonderlösungen gefunden werden müssen, können die Kosten auch höher liegen.



Vergleich der Kosten Nachrüstung/Neuanschaffung von Bussen; Foto: Eminox

Selective Catalytic Reduction (SCR)

Um die Stickoxidemissionen im Abgas zu reduzieren, wird die SCR-Technik am häufigsten nachgerüstet. Auch bei Neufahrzeugen wird SCR im stärkeren Maße verwendet und ist mittlerweile Voraussetzung, um die immer strengeren Abgasnormen (EURO VI) zu erfüllen. Da jedoch noch immer viele Busse ohne oder mit einem nicht funktionsfähigen Stickoxidminderungssystem unterwegs sind, viele Städte auch aus diesem Grund unter zu hohen NO_x -Belastungen leiden, besteht hier noch erheblicher Nachholbedarf. Ist ein Bus bereits mit einem Partikelfilter ausgestattet, kann der nachträgliche Einbau eines SCR-Systems auch die Stickoxidemissionen deutlich senken.

SAUBERE BUSSE IN DER PRAXIS – BEISPIEL BERLIN

Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) betreiben mit rund 1.300 eigenen und 100 Bussen von Subunternehmen das größte Busnetz in Deutschland und eines der größten Europas. Um anhaltenden Luftqualitätsproblemen zu begegnen, wurden bereits 1998 die ersten Fahrzeuge mit Partikelfiltern nachgerüstet. Aufgrund der guten Erfahrungen folgten allein zwischen 1999 und 2001 weitere 445 Busse. Bei neuen Fahrzeugen war der Partikelfilter auch schon damals Pflicht. Als 2008 Berlin die Umweltzone einführt, wurden in dieser ausschließlich Busse mit Filter verwendet. Somit ging die BVG mit gutem Beispiel voran und trug zur Akzeptanz der Umweltzone bei.

Da Busse einen wesentlichen Anteil an den zu hohen Stickoxidbelastungen an vielen Messstellen in der Stadt haben, haben die Stadt Berlin und die BVG auch hier Maßnahmen ergriffen. 2014 wurden 91 Busse mit SCR-Systemen nachgerüstet, die den Stickoxidausstoß um bis zu 76 Prozent reduzieren. Dabei wurden EU-Fördergelder aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung als Kofinanzierung genutzt. Weitere 200 SCRT-Nachrüstungen sind für 2015 geplant.

Technische Funktionsweise und Reduktionsraten

Bei der selektiven katalytischen Reduktion wird das Stickstoffoxid unter Zuhilfenahme eines Reduktionsmittels aus dem Abgas entfernt. Dafür wird eine wässrige Harnstofflösung verwendet, in der das eigentliche Reduktionsmittel Ammoniak (NH_3) gebunden ist. Dieses wird auf dem Markt als AdBlue angeboten.

Im Prinzip arbeitet eine SCR-Einheit in drei Schritten: Zuerst wird in das Abgas entsprechend dem darin enthaltenen NO_x das Reduktionsmittel AdBlue eingedüst. Dabei wandelt sich das AdBlue durch Hydrolyse zu Ammoniak und CO_2 um. Im zweiten Schritt findet dann im SCR-Katalysator die eigentliche NO_x -Reduktion statt, indem das Ammoniak mit den Stickoxiden zu ungefährlichem Stickstoff und Wasser reagiert. Im dritten und letzten Schritt verhindert ein Oxidationskatalysator, häufig auch als Sperrkatalysator bezeichnet, dass überschüssiges Ammoniak entweicht.

Mit Hilfe eines SCR-Systems lassen sich die NO_x -Emissionen von Bussen um bis zu **80 Prozent** reduzieren. Zudem muss der Motor für das System nicht extra verändert werden.

Der Dieselmotor kann also auf optimalen Kraftstoffverbrauch eingestellt werden. Das hat in der Regel einen Anstieg der Stickoxidemissionen zur Folge. Dies bedeutet ebenfalls, dass ein SCR-System keinen negativen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat.

Effektivität im Realbetrieb

Die Wirksamkeit der SCR-Einheit ist in starkem Maße von der Abgastemperatur abhängig. Liegt diese unter 200 Grad Celsius, ist das System inaktiv. Bei rund 240 Grad Celsius und mehr ist die Wirkung am größten. Im Bereich dazwischen ist je nach System mit einer verringerten Wirksamkeit zu rechnen. Wird die notwendige Temperatur nicht erreicht, ist eine Umwandlung von AdBlue zu Ammoniak als Reduktionsmittel nicht möglich, ebenso sinkt der Wirkungsgrad des SCR-Katalysators.

Die Hauptgründe für zu niedrige Abgastemperaturen liegen in der geringen Durchschnittsgeschwindigkeit und dem hohen Stopp-Anteil von Stadtbussen. Ein großer Vorteil von nachgerüsteten SCR-Systemen ist die Möglichkeit einer individuellen Anpassung an die lokalen Bedingungen. So können zu niedrige Temperaturen beispielsweise durch eine zusätzliche Beheizung vermieden und auf das notwendige Niveau gehoben werden. Ebenso kann ein zusätzlicher Oxidationskatalysator das System auch in niedrigeren Temperaturbereichen wirksam laufen lassen. Mit diesen Maßnahmen arbeiten nachgerüstete SCR-



Foto: Peter Smola / Pixelio

Systeme auch unter schwierigen Bedingungen mit einem hohen Wirkungsgrad. Verschiedene Untersuchungen im Realbetrieb bestätigen dies. So wurden beispielsweise in Berlin zwei unterschiedliche EURO-III-Busse mit einem SCRT-System (Kombination aus CRT und SCR) ausgerüstet und auf einer Stadtbuslinie getestet. Dabei konnten bei einem der beiden Busse die NO_x -Emissionen um 80 Prozent gesenkt werden, bei dem anderen waren es 54 Prozent. In London wurden bei einem nachgerüsteten Doppeldeckerbus sogar NO_x -Reduktionen von bis zu 88 Prozent erzielt. Und die Untersuchungen auf einer Buslinie in Brighton and Hove (Großbritannien) bestätigen ebenfalls, dass nachgerüstete ältere Busse im Vergleich zu neueren Bussen nicht schlechter abschneiden. So wies ein mit SCR und Partikelfilter nachgerüsteter EURO-III-Bus nicht nur geringere NO_x -Emissionen als ein serienmäßiger EURO-V-Bus auf, sondern hatte sogar einen geringeren Stickoxidausstoß als ein EURO-V-Hybridbus.⁶

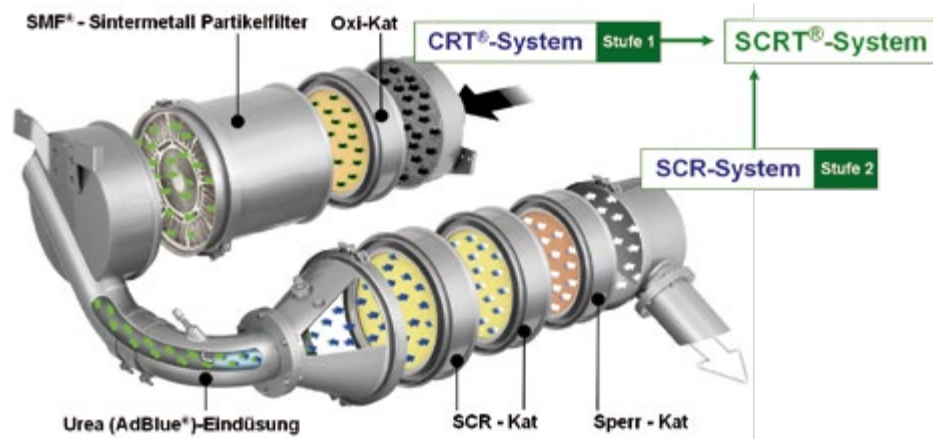
Kosten der Nachrüstung

Die Preise für SCR-Systeme sind je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich. Zudem ist im Gegensatz zu Partikelfiltern beim Einbau und der Einstellung des Systems auf die spezifischen Einsatzbedingungen mit höheren Kosten zu rechnen. Insgesamt ist mit Kosten zwischen 8.000 und 12.000 Euro pro Bus zu rechnen.

Selective Catalytic Reduction Technology (SCRT) = CRT+SCR

Partikelfilter und SCR-System können jeweils einzeln nachgerüstet werden. Soll ein Bus ohne Abgasreinigungsanlage nachgerüstet werden oder muss im Zuge der Nachrüstung ein Partikelfilter ausgetauscht werden, bietet sich ein kombiniertes System an – SCRT. Dabei werden in einer Baueinheit beide Systeme vereint und können so platzsparend in das Fahrzeug integriert werden. Die bereits beschriebenen Funktionsweisen und Reduktionsraten von CRT und SCR bleiben dabei erhalten. SCRT ist ein markenrechtlich geschützter Begriff, der jedoch gemeinhin als Synonym für die Kombination Partikelfilter und SCR-Einheit verwendet wird.

Ebenso wie bei einem reinen SCR-System sind die Preise für ein SCRT-System je nach Bustyp unterschiedlich. Für eine komplette Anlage muss mit Kosten von ca. 10.000 bis 16.000 Euro gerechnet werden.



Schematische Darstellung eines SCRT®-Systems; Quelle: HJS

ERGÄNZENDE MASSNAHMEN

Umweltzonen

Durch die Einführung von Umweltzonen sollen Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß aus Städten herausgehalten und somit die Luftqualität verbessert werden. 1996 wurde in Stockholm die erste Umweltzone in Europa eingerichtet, seitdem haben viele weitere europäische Länder nachgezogen. 2008 wurde dieses wirkungsvolle Instrument zur Luftreinhaltung zum ersten Mal in Deutschland eingesetzt, mittlerweile gibt es hier mehr als 60 Umweltzonen. Mit rund 850 Quadratkilometern ist die Umweltzone Ruhrgebiet, ein Zusammenschluss von zwölf Städten, die größte Umweltzone Deutschlands und eine der größten der Welt.

Damit Umweltzonen eine größtmögliche Wirkung erzielen, müssen neben der Festlegung wirkungsvoller Zufahrtsbeschränkungen (Abgasstufen) auch alle Emissionsquellen einbezogen werden. Für den Kraftfahrzeugbereich sind das neben Pkw und Lkw auch Busse des öffentlichen Nahverkehrs. Obwohl sie quantitativ nur eine vergleichsweise kleine Rolle spielen, haben sie durch ihre hohe Laufleistung eine große Bedeutung für die städtische Luftqualität. Die konsequente Erfüllung von Umweltzonenregelungen durch die Busse des Nahverkehrs ist somit ein essenzieller Bestandteil für deren Erfolg. Aus diesem Grund sind generelle Ausnahmegenehmigungen zu vermeiden. Ein Verschmutzungsprivileg für Busse ist Bewohnerinnen und Bewohnern nur schwer zu vermitteln und wird kaum von ihnen akzeptiert. Vielmehr muss der öffentliche Nahverkehr als Alternative zum Autoverkehr auch hinsichtlich des Schadstoffausstoßes eine Vorreiterrolle übernehmen. Dies sollte von Verkehrsunternehmen und Kommunen auch offensiv kommuniziert werden, um die allgemeine Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft zu steigern.



Foto: kamasigns / Fotolia

Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es einer engen Zusammenarbeit zwischen Kommunen und Busbetreibern. Dazu gehört neben einer frühzeitigen Beteiligung bei der Planung zukünftiger Umweltzonenregelungen und den zu erwartenden Anforderungen an die Busflotte auch eine Unterstützung bei der Modernisierung. Ein Soforthilfe-Papier für Kommunen soll diesen bei der Einführung und Umsetzung von Umweltzonen helfen: Link <http://bit.ly/1KKaoq>

Förderung der Nachrüstung

Die Nachrüstung von Fahrzeugen mit moderner Abgasreinigungstechnik ist für Busbetreiber eine große finanzielle Herausforderung. Die wenigsten Verkehrsunternehmen können die dafür benötigten Mittel allein aufbringen. Aus diesem Grund ist eine gezielte Nachrüstkförderung durch die öffentliche Hand notwendig, um den Schadstoffausstoß schnell zu senken und die Luftqualität in Städten zu verbessern.

Dabei ist die pauschale Bezuschussung des nachträglichen Einbaus von Partikelfiltern und SCR-Systemen eine wirkungsvolle Maßnahme. Ein nationales Förderprogramm kann hier entsprechende Anreize setzen und die Modernisierung der Busflotte beschleunigen. Dafür sollten ausreichend Mittel bereitgestellt und die Förderbedingungen so ausgestaltet werden, dass möglichst viele Fahrzeuge davon profitieren können. Pro Fahrzeug muss die Förderhöhe mindestens 50 Prozent, besser sogar 75 Prozent der entstehenden Kosten betragen. Da die Abstimmung von SCR/SCRT-Systemen auf die jeweiligen Einsatzbedingungen relativ aufwendig,

aber notwendig ist, sollte dies bei der Förderung ebenfalls berücksichtigt werden. Gleichwohl muss die Förderung dabei sowohl für Partikelfilter wie auch Systeme zur Reduktion von Stickoxidemissionen möglich sein. Gute Erfahrungen mit der Nachrüstförderung im Kraftfahrzeugbereich wurden in Deutschland bereits gesammelt. Durch die Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern für Pkw konnten mehrere Hunderttausend Besitzer ihre Fahrzeuge sauberer machen. Dies hat wesentlich dazu beigetragen, die Dieselrußemissionen zu senken und somit die Luftqualität in Städten messbar zu verbessern. Da gleichzeitig in vielen Städten Umweltzonen eingeführt bzw. verschärft wurden, konnten so viele Fahrzeugbesitzer unterstützt werden, die ohne Nachrüstung mit ihren Autos nicht mehr in die Umweltzonen hätten einfahren dürfen.

Auf regionaler Ebene hat es für Busse bereits Nachrüstförderungen gegeben. Das Bundesland Baden-Württemberg förderte über mehrere Jahre den nachträglichen Einbau von Abgas-Filtern in ÖPNV-Busse. Die Betreiber erhielten einen Zuschuss von 7.500 Euro pro Fahrzeug, wenn nach der Umrüstung die Emissionsgrenzwerte von EURO V erreicht wurden. Durch diese Förderung wurden vor allem ältere Fahrzeuge, die noch mindestens drei Jahre beim Antragsteller im Betrieb waren, abgastechisch auf einen aktuellen Stand gebracht. Viele Busbetreiber, die von der Einführung oder Verschärfung von Umweltzonen betroffen waren, nahmen das Angebot an, um ihre Flotte zukunftsfähig zu machen.



Foto: Rudolpho Duba / Pixelio

Saubere Busse in der Praxis – Beispiel Santiago de Chile

In Santiago de Chile fiel die Modernisierung der Busflotte mit einer kompletten Umstrukturierung des Busverkehrs zusammen. Eine Vielzahl von Kleinunternehmen, die oft nur einen oder zwei Busse betrieben, wurden zusammengelegt und mit „Transantiago“ wurde ein zentrales ÖPNV-Unternehmen gegründet. Dieses koordiniert seit 2007 den gesamten Busverkehr und hat Verträge mit zehn Unternehmen geschlossen, die momentan rund 5.500 Busse betreiben.

Busse trugen 2004 zu knapp einem Viertel zu den PM_{10} -Emissionen bei. Die Stadt geht davon aus, dass allein aufgrund dieses Schadstoffausstoßes jährlich rund 800 Menschen vorzeitig starben. Aus diesem Grund müssen seit 2005 neue Busse einen Partikelfilter haben, ebenso wurden bisher rund 1.800 Busse nachgerüstet. Bis 2018 sollen die dann erwarteten 6.300 Busse alle mit einem Filter ausgestattet sein. Transantiago rechnet dann mit rund 113 t PM_{10} , die pro Jahr weniger ausgestoßen werden.

Neben PM_{10} wird auch Stickstoffoxid zu einem immer stärkeren Problem. Um diesem zu begegnen, soll 2015 mit der Nachrüstung von SCRT-Systemen begonnen werden.



In Berlin wurde bei der Modernisierung der Busflotte eine weitere Förderquelle genutzt. Das operationelle Programm des Landes Berlin für den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) wurde so ausgestaltet, dass die Nachrüstung von Bussen mit SCRT-Systemen durch EU-Gelder kofinanziert werden konnte. Auf diese Weise übernahm die Europäische Union rund 50 Prozent der dadurch entstandenen Kosten. In einer ersten Phase wurden so bei fast 100 Bussen die Stickoxidemissionen deutlich gesenkt, weitere Busse sollen folgen.

Kommunen sollten ein ureigenes Interesse daran haben, den Schadstoffausstoß des Verkehrs zu senken. Denn nicht nur die immer strengeren europäischen Anforderungen an die Luftqualität gilt es zu erfüllen. Auch die Lebensqualität in Städten wird in starkem Maße von der Luftqualität bestimmt und muss aus diesem Grund so gut wie möglich sein. Deshalb sollten Kommunen prüfen, ob auch eigene Mittel verwendet werden können, um die Verkehrsunternehmen bei der Nachrüstung der Fahrzeuge zu unterstützen.



Ansprechpartner und weitere Informationen

Gregor Kolbe
Projektmanager ‚Saubere Busse‘
Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD)
Telefon: 0049 30 280351-60
gregor.kolbe@vcd.org

Weitere Informationen rund um das Thema Busse,
Umweltzonen und saubere Luft in Städten finden Sie
auf unserer Internetseite:
www.cleanair-europe.org

© 2015, Verkehrsclub Deutschland e.V.



VCD – der ökologische Verkehrsclub
Seit 1986 die richtige Alternative für
alle Umweltbewussten.

www.vcd.org

Foto Titelseite: zettberlin / Photocase

Clean Air

ist ein gemeinsames Projekt von neun europäischen Umweltverbänden, die für saubere Luft in Europas Städten kämpfen. Trotz der vielen gesetzlichen Regelungen zur Luftreinhaltung auf europäischer, nationaler und regionaler Ebene werden in vielen Städten die Ziele zur Luftreinhaltung verfehlt. Das gefährdet die Umwelt, das Klima und die Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger. Es ist Zeit zu handeln.

www.cleanair-europe.org

Bereits seit 2009 gibt es die Kampagne „Rußfrei fürs Klima“, in der mittlerweile elf europäische NGOs zusammenarbeiten. Ziel ist die Reduzierung von Dieselrußemissionen, um die Klimaerwärmung zu bremsen und die Umwelt und die Gesundheit der Menschen zu schützen.

www.russfrei-fuers-klima.de

a project by



project coordination

co-financed by the
EU's LIFE financial
instrument



associated
campaign

