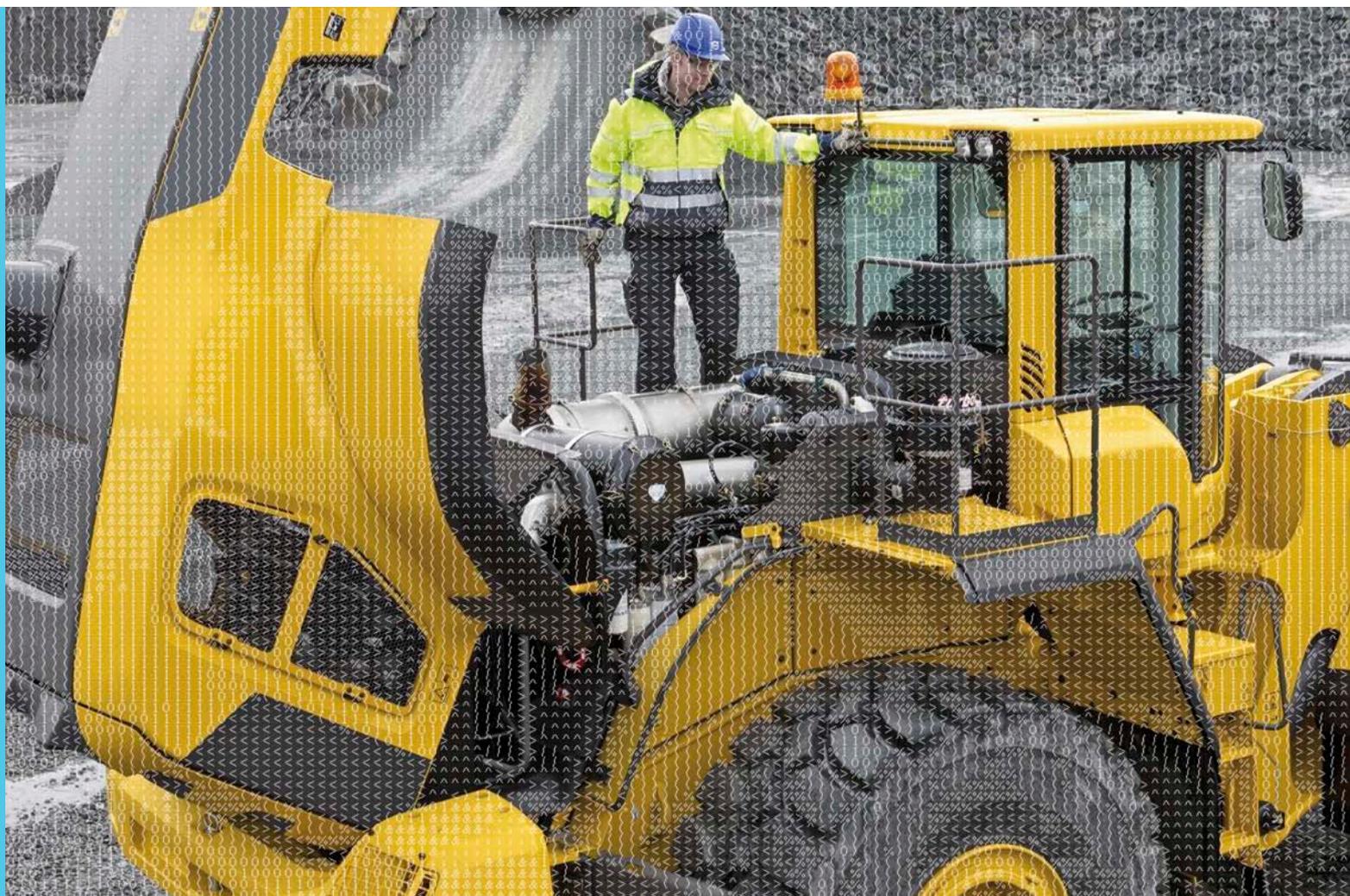


> Weniger Russ aus Dieselmotoren

Erfolge der Schweiz bei der Emissionsreduktion



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Inhalt

Vorwort	3
Vorteile und Problematik des Dieselmotors	4
Einfluss auf die Volksgesundheit	6
Effiziente Abgasreinigung mit Partikelfiltern	8
Funktionsweise der Partikelfilter	10
Entwicklung der Dieselermissionen	12
Abgasreinigung bei Bussen und Lastwagen	14
Partikelfilter für Lokomotiven und Schiffe	16
Abgasreinigung bei Baumaschinen	18
Abgasreinigung bei Pistenfahrzeugen	20
Abgasreinigung bei Traktoren	22
Abgasreinigung bei Maschinen und Geräten	24

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Beat Jordi, Biel

Begleitung BAFU

Gerhard Badertscher, Philipp Hallauer, Martin Schiess,
Peter Straehl (Abteilung Luftreinhaltung);
Georg Ledergerber (Abteilung Kommunikation)

Lektorat

Chantal Frey, Beinwil am See

Gestaltung

upart, Bern, Laurence Rickett

Titelbild

Volvo

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Vertrieb Bundespublikationen, CH-3003 Bern
Tel. +41 (0)31 325 50 50, Fax +41 (0)31 325 50 58
verkauf.zivil@bbl.admin.ch
Bestellnummer: 810.400.068d
www.bafu.admin.ch/ud-1057-d

Diese Publikation ist auch in französischer,
italienischer und englischer Sprache erhältlich.

> Vorwort

Vor allem in den dicht besiedelten Gebieten der Schweiz und entlang von viel befahrenen Strassen liegt die Verschmutzung der Luft mit gesundheitsschädigendem Feinstaub zum Teil deutlich über dem Grenzwert der Luftreinhalte-Verordnung (LRV). So sind 30 bis 40 Prozent der Bevölkerung während des ganzen Jahres übermässigen Staubbelastungen ausgesetzt. Zudem atmen etwa 10 Prozent aller Personen chronisch zu viel Stickstoffdioxid ein.

Durch die spezifische topografische Lage – eingebettet zwischen den Höhenzügen des Juras im Norden und den Alpen im Süden – gibt es im Mittellandbecken oft nur einen geringen Luftaustausch. Dies gilt auch für das Tessin, wo sich die Abgase aus der Poebene häufig am Südfuss der Alpen stauen. Diese geografische und klimatische Sondersituation wirkt sich negativ auf die Luftqualität aus.

Zu den besonders toxischen Bestandteilen des Feinstaubes zählt der krebs-erregende Russausstoss von Dieselmotoren. Gemäss der schweizerischen Umweltschutzgesetzgebung müssen die Emissionen von kanzerogenen Stoffen minimiert werden. Zum Schutz der Bevölkerung hat der Bundesrat bereits 2006 den «Aktionsplan gegen Feinstaub» beschlossen und damit mehrere Massnahmen eingeleitet, um vor allem den hohen Russausstoss von Dieselmotoren ohne Abgasreinigung markant zu reduzieren.

Die Schweiz hält sich im Bereich der Strassenfahrzeuge an die Abgasnormen der Europäischen Union. Im Non-Road-Sektor stellt sie aber je nach Maschinengattung strengere technische Anforderungen an Dieselmotoren, sofern der Schutz von Beschäftigten, Anwohnern und Passanten dies erfordert. Hier hat der Bund bewusst eine Pionierrolle übernommen und damit die Weiterentwicklung der Technik vorangetrieben.

Mit den geprüften Partikelfiltersystemen der BAFU-Filterliste steht seit Jahren eine technisch ausgereifte, effiziente Abgasreinigungstechnologie für Dieselmotoren zur Verfügung. Der finanzielle Aufwand für eine wirksame Abgasreinigung liegt dabei deutlich unter den externen Gesundheitskosten, die sich unsere Volkswirtschaft künftig durch eine markante Senkung der Russbelastung ersparen kann. Die Anstrengungen der Schweiz auf diesem Gebiet zahlen sich aber auch insofern aus, als dank Pionierleistungen von Forschung und Industrie zahlreiche neue Arbeitsplätze im zukunftssträchtigen Cleantech-Sektor entstanden sind.



Bruno Oberle
Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Vorteile und Problematik des Dieselmotors

> Dieselfahrzeuge auf der Überholspur

Auf Schweizer Strassen verkehren immer mehr Fahrzeuge mit Dieselantrieb. Sofern sie nicht über ein wirksames Partikelfiltersystem verfügen, belasten allerdings auch neuere Motoren die Luft stark mit gesundheitsschädigendem Dieselruss.

Fahrzeuge und Maschinen mit Dieselantrieb sind anderen Verbrennungsmotoren in mehreren Punkten überlegen. Im Vergleich zu Benzinmotoren verbrauchen sie – aufgrund des effizienteren Verbrennungsverfahrens – bis zu 30 Prozent weniger Treibstoff und haben pro Tankfüllung eine grössere Reichweite. Somit fällt auch die Belastung der Atmosphäre mit dem mengenmässig wichtigsten Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) geringer aus.

Durch die in den letzten Jahren forcierte Weiterentwicklung der Einspritztechnik und Aufladung ist es gelungen, auch den Wirkungsgrad von kleineren Dieselmotoren zu steigern, wie sie in Personenwagen (PW) eingebaut werden. Obwohl ein Dieselantrieb nicht so hohe Tourenzahlen erreicht wie vergleichbare Benzinmotoren, verfügt er im unteren Drehzahlbereich über ein höheres Drehmoment. Damit steht die Spitzenleistung des Motors bereits ab einer tiefen Tourenzahl zur Verfügung. Erinnerten die klopfenden Verbrennungsgeräusche beim Kaltlauf früher eher an einen Traktor als an einen PW, so laufen heutige Dieselmotoren viel ruhiger und

vibrationsarm. Zu verdanken ist dies primär einer leistungsfähigen Elektronik zur Steuerung des Motors sowie modernen Einspritzdüsen.

Rasche Zunahme der Diesel-PW

Der technische Fortschritt hat die Attraktivität der Diesel-PW stark gesteigert. In der Schweiz ist heute bereits jeder dritte Neuwagen mit einem solchen Motor ausgestattet. Dadurch nimmt der Anteil der Dieselfahrzeuge am gesamten PW-Bestand auf Kosten der Benzinautos laufend zu. Ende September 2011 zählte das Bundesamt für Statistik insgesamt 827 000 Diesel-PW, was fast 20 Prozent aller 4,16 Millionen Personenwagen entspricht. Im europäischen Ausland, wo der Dieselmotorkraftstoff – anders als in der Schweiz – fast überall steuerlich begünstigt wird, verkehren sogar deutlich mehr solche Fahrzeuge. So machen Autos mit Dieselmotor in einigen Ländern über 75 Prozent aller zugelassenen Neuwagen aus.

Lufthygienische Nachteile

Im PW-Bereich verfügen Benzinmotoren mittlerweile seit mehr als zwei Jahrzehnten standardmässig über einen geregelten 3-Wege-Katalysator zur Abgasreinigung. Im Gegensatz dazu haben die Bemühungen zur Emissionsreduktion bei Dieselmotoren relativ spät eingesetzt. Aus lufthygienischer Sicht fällt insbesondere der deutlich höhere Ausstoss an Stickoxiden (NO_x) und an krebserregenden Russpartikeln negativ ins Gewicht. Technischen Bestrebungen zur Minderung der NO_x-Emissionen mittels innermotorischer Massnahmen – wie etwa einer Abgasrückführung – sind enge Grenzen gesetzt, weil dadurch der Russausstoss ansteigt und die Motorleistung abnimmt.

Dank einer Verbesserung der Treibstoffverbrennung im Dieselmotor sind die Rauchschwaden heute weitgehend verschwunden. Doch diese Reduktion der sichtbaren Grobpartikel und der Russpartikelmasse reicht aus lufthygienischer Sicht nicht aus, weil in der Nähe der Emissionsquellen – wie beispielsweise an den Hauptachsen des Strassenverkehrs – auch die hohen Konzentrationen von ultrafeinen, meist unsichtbaren Russpartikeln ein Gesundheitsproblem darstellen.



Als erster Hersteller hat die französische Autofirma Peugeot ihre diesetriebetriebenen Personenwagen serienmässig mit einem wirksamen Partikelfilter zur Abgasreinigung ausgerüstet.

Foto: ACV-Pressbild des Automobil-Club Verkehr (D)

Zudem haben Russpartikel auch eine klimaerwärmende Wirkung. Da sie im Gegensatz zum wichtigsten Treibhausgas Kohlendioxid nicht jahrhundertlang, sondern nur während einiger Wochen in der Atmosphäre verweilen, kann eine Reduktion der Russemissionen sehr kurzfristig dämpfend auf die Klimaerwärmung wirken.

Abgasnachbehandlung wird zum Standard

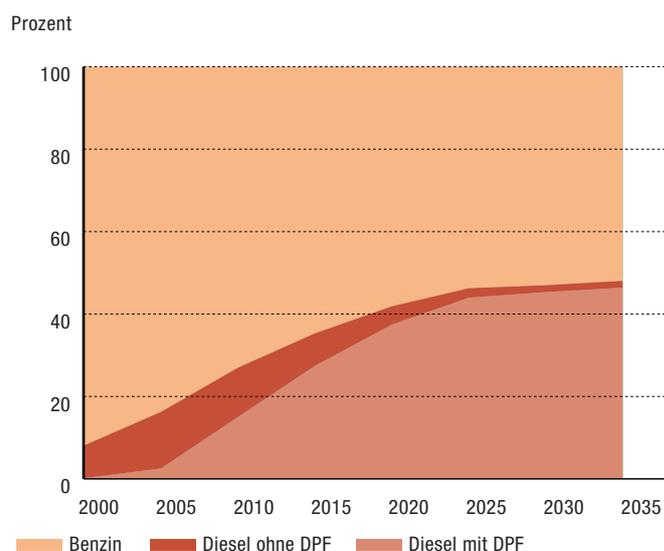
Angesichts der heute verfügbaren technischen Möglichkeiten ist es bisher nicht gelungen, das Ziel einer optimalen Dieselverbrennung in einem einzigen Prozess mit dem Anliegen möglichst tiefer Abgasemissionen in Einklang zu bringen. Wie beim Benzinmotor üblich, lässt sich dieses Dilemma nur durch eine Entkoppelung von Verbrennungsprozess und Abgasbehandlung erreichen.

Der 2006 vom Bundesrat verabschiedete Aktionsplan zur Bekämpfung des Feinstaubes hat wesentlich dazu beigetragen, dass in der Schweiz die meisten Käufer von Personewagen mit Dieselmotor lange vor Einführung der Abgasnorm EURO 5 auf freiwilliger Basis umweltverträglichere Modelle mit einem effizienten Russfilter bevorzugten. Seit der Inkraftsetzung im September 2009 ist der zulässige Partikelgrenzwert für neu in Verkehr gebrachte Dieselaautos nun in Europa offiziell von 25 auf 5 Milligramm pro Kilometer (mg/km) gesenkt worden. Diese Limite lässt sich nur mit einem geschlossenen Partikelfiltersystem einhalten, das den Russausstoss um mehr als 95 Prozent reduziert. Ab September 2014 verlangt der dann geltende EURO 6-Standard für neue Dieselmodelle zusätzlich eine weitere Minderung der NO_x-Emissionen von heute 180 auf 80 mg/km. Damit dürften sich auch katalytische Massnahmen zur Reduktion der Stickoxide – wie etwa der SCR-Katalysator (Selective Catalytic Reduction) – breit durchsetzen.

Dieselmotoren ohne Filter sind ein Problem

Für die Kategorie der leichten Motorwagen mit einem Gewicht zwischen 2,5 und 3,5 Tonnen gilt der strenge Partikelanzahlgrenzwert erst ab Herbst 2012. Und neue, schwere Motorfahrzeuge über 3,5 Tonnen müssen den Anzahlgrenzwert erst mit Inkrafttreten der neuen Abgasnorm EURO VI ab 2014 einhalten. Zudem sind auf Schweizer Strassen weiterhin Zehntausende von älteren Dieselaautos ohne Abgasreinigung unterwegs.

Diese setzen vor allem Anwohnende von stark befahrenen Strassen permanent übermässigen Russimmissionen aus. Im Zeitraum von 2007 bis 2009 durchgeführte Messungen an verschiedenen Orten in der Schweiz zeigen, dass der Gewichtsanteil des Russes im Feinstaub (Particulate Matter, PM₁₀) an solchen Standorten bis zu 15 Prozent erreichen kann. Die hier registrierten Jahresmittelwerte von 2 bis 3 Mikrogramm Russ pro Kubikmeter (µg/m³) Luft übertreffen die aus lufthygienischen Gründen angestrebte maximal tolerierbare Belastung um ein Vielfaches.



Entwicklung der Fahrleistungsanteile von Dieselaautos mit und ohne Partikelfilter (DPF) am PW-Bestand in der Schweiz

Datenquellen: BAFU-Bericht «Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035», Bern 2010; Umwelt-Wissen Nr. 1021 / Bundesamt für Statistik (MOFIS-Datenbank des ASTRA)

Einfluss auf die Volksgesundheit

> Dieseleruss erhöht das Krebsrisiko

Dieseleruss ist krebserregend und deshalb ein besonders toxischer Bestandteil des gesundheitsschädigenden Feinstaubes in unserer Atemluft. Gemäss dem Umweltschutzgesetz sind die Emissionen kanzerogener Stoffe so weit zu reduzieren, wie dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Täglich passieren 70 000 bis 80 000 Fahrzeuge auf der Autobahn A1 die Luftmessstation Härkingen (SO). Werktags steigt die Partikelanzahlkonzentration hier auf doppelt so hohe Werte wie an Sonntagen, wenn der Schwerverkehr ruht. Der typische Wochengang lässt auf dieselbetriebene Lastwagen als wesentliche Emissionsquelle der sehr feinen Partikel schliessen. Gestützt wird diese Folgerung durch kontinuierliche Russmessungen, die in Strassennähe stark erhöhte Belastungen nachweisen. Ähnlich wie entlang von viel befahrenen Strassen in den Stadtzentren wird hier in der Umgebungsluft bis zu sechsmal so viel Russ gemessen wie an ländlichen Standorten in der Schweiz.

Viel zu hohe Russbelastung

Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) beziffert die Russbelastung der hiesigen Bevölkerung in ihrem 2008 veröffentlichten Feinstaub-Bericht im Durchschnitt auf rund $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel. Nach ihrer Abschätzung sollten pro Jahr nicht mehr als 100 bis 200 Tonnen Russ in die Atemluft gelangen, um den Anforderungen des Umweltschutzgesetzes (USG) zum Schutz der Menschen vor schädlichen Einwirkungen zu genügen. Dies ergäbe eine maximale Russkonzentration von zirka $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel. 2010 entwichen aber noch rund 1500 Tonnen Dieseleruss in die Umgebungsluft. Die EKL kommt denn auch zum Schluss, dass die vom krebserregenden Dieseleruss ausgehende Gefahr für die Bevölkerung um ein Vielfaches über einem USG-konformen Risiko liege und dem Schutzanspruch der Bevölkerung bei Weitem nicht genüge. Für die Kommission ist es deshalb dringend notwendig, die Russbelastung – entsprechend dem Minimierungsgebot für kanzerogene Stoffe – weiter zu reduzieren.

Obwohl der Russanteil vielerorts lediglich 5 bis 10 Prozent des gesamten Feinstaubcocktails ausmacht, werden gemäss einer deutschen Studie die meisten Krebsfälle durch Luftschadstoffe von den besonders toxischen Russemissionen verursacht.

Minimierungsgebot für krebserzeugende Stoffe

Generell gibt es für kanzerogene Luftschadstoffe wie Dieseleruss aber keine unschädliche Schwellenkonzentration, weil die winzigen Verbrennungsaerosole bereits in kleinsten Mengen die Atemorgane beeinträchtigen können. Wie alle Feinpartikel in unserer Atemluft sind auch die ultrafeinen Verbrennungsrückstände aus Dieselmotoren in der Lage, die natürlichen Abwehrmechanismen des menschlichen Körpers zu überwinden. Via die Atemwege können sie tief in die feinsten Verästelungen der Lunge vordringen und von dort aus über den Blutkreislauf in die Zellen verschiedener Organe gelangen. Möglich ist sogar, dass eingeatmete Dieselerusspartikel über die Riechnerven den direkten Weg ins Gehirn finden.

Verschiedene Studien an exponierten Arbeitsplätzen zeigen, dass Menschen, die berufshalber Dieseleruss ausgesetzt sind, einem um etwa 20 bis 50 Prozent höheren Lungenkrebsrisiko unterliegen als Vergleichspersonen ohne diese Belas-



Kleinste Dieselerusspartikel im Feinstaub können bis in die tiefsten Verästelungen der Lunge vordringen. Personen mit chronischen Erkrankungen der Atemwege – wie etwa Asthmatiker – gehören zu den Risikogruppen, die besonders empfindlich auf erhöhte Belastungen reagieren.

tung. In der Schweiz rechnet eine Studie mit insgesamt 3000 bis 4000 vorzeitigen Todesfällen pro Jahr als Folge der Luftverschmutzung. Ein Grossteil davon geht auf das Konto der übermässigen Feinstaubimmissionen. Miteingerechnet sind 200 bis 300 Lungenkrebsfälle, die überwiegend durch Russpartikel verursacht werden.

Bedeutende Gesundheitsschäden

Schon bei kurzfristig erhöhten Belastungen verschlechtert sich das Befinden von Personengruppen mit besonderer Empfindlichkeit, etwa bei Kindern, Kranken und Betagten. So leiden Heranwachsende mit einer Asthmaerkrankung vermehrt unter akuten Symptomen. Generell können Menschen mit Allergien besonders sensibel auf Dieseleruss reagieren. Die Einnahme von Medikamenten nimmt zu, Spitaleintritte wegen Atemwegbeschwerden und Symptomen des Herz-Kreislauf-Systems häufen sich, und die tägliche Mortalität steigt an.

Auswirkungen einer dauerhaft übermässigen Luftbelastung sind eine Zunahme von chronischen Atemwegserkrankungen wie zum Beispiel Asthma, eine permanente Reduktion der Lungenfunktion, gehäuft auftretende Herz-Kreislauf-Erkrankungen und eine grössere Anzahl vorzeitiger Todesfälle, die zu einer tieferen Lebenserwartung der Bevölkerung führt. Wegen der Schadstoffbelastung birgt das Leben an stark befahrenen Strassen für Kinder und Erwachsene erhöhte Gesundheitsrisiken, wie neuere Studien zeigen. So ist nachgewiesen, dass Kinder, die in der Nähe von viel befahrenen Strassen wohnen, öfter an Asthma erkranken und auch schlimmere Symptome entwickeln. Zudem bestehen Hinweise, wonach dies auch für Erwachsene zutreffen könnte.

Partikelfilter ersparen hohe externe Kosten

Die Gesundheitskosten durch Dieseleruss sind schwierig zu beziffern. Sie variieren je nach Grundbelastung und Bevölkerungsdichte am Emissionsort. An einer stark frequentierten Kreuzung in einem Wohngebiet verursacht ein Kilogramm Russ deshalb viel mehr Gesundheitsschäden als in einer unbewohnten und eher verkehrsarmen Gegend.

Eine 2008 publizierte Studie des Bundes beziffert die externen Gesundheitskosten durch die verkehrsbedingte Luftverschmutzung im Inland auf fast 2 Milliarden Franken pro Jahr.

Obwohl Russ mengenmässig nur etwa 5 bis 10 Prozent des Leitschadstoffs PM10 ausmacht, dürfte dessen Anteil an den Gesundheitskosten aufgrund seiner Toxizität deutlich höher sein. Am Beispiel der Nachrüstung von Baumaschinen hat ein wissenschaftlicher Kostenvergleich im Auftrag des BAFU bereits 2003 aufgezeigt, dass der Einsatz von wirksamen Partikelfiltersystemen einen markanten Nutzen für die Gesundheit der Bevölkerung und die Volkswirtschaft erbringt. Der finanzielle Aufwand für die Abgasreinigung ist um einiges ge-

ringer als die vermiedenen Gesundheitskosten. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen neuere Kosten-Nutzen-Studien im Auftrag der Europäischen Kommission und der kalifornischen Umweltbehörde.

Eine effiziente Abgasreinigung der Dieselmotoren zahlt sich für die Gesellschaft aber nicht nur in Form von deutlich kleineren Gesundheitsrisiken aus, sondern entlastet die Atmosphäre auch rasch von klimawirksamen Schadstoffen. Damit leisten Dieselpartikelfilter zusätzlich einen Beitrag zur Verminderung der Folgeschäden durch eine rasche Klimaerwärmung. Nicht zu vernachlässigen ist zudem die Reduktion von Gebäudeschäden wegen Russablagerungen.



Kinder mit Wohnorten an viel befahrenen Strassen erkranken laut wissenschaftlichen Studien öfter an Asthma.

Foto: Beat Jordi, Biel

Effiziente Abgasreinigung mit Partikelfiltern

> Bewährungsprobe im Tunnelbau

Ein in der Schweiz durchgeführtes Pilotprojekt zur Abgasreinigung von Dieselmotoren im Tunnelbau hat die hohe Wirksamkeit geschlossener Partikelfilter unter Beweis gestellt. Damit verhalf es dieser Technologie zum breiten Durchbruch.

Messungen der Dieselmotorgehalte auf inländischen Tunnelbaustellen durch die für den Arbeitnehmerschutz zuständige Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva) ergaben in den 1990er-Jahren hohe Belastungen, welche zum Teil massiv über der zulässigen Maximalen Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) lagen.

Alarmiert durch diese Erkenntnisse, lancierte die Suva 1994 gemeinsam mit Unfallversicherungen aus Deutschland und Österreich das Pilotprojekt VERT zur Verminderung der Emissionen von dieselbetriebenen Maschinen im Tunnelbau. Abklärungen für die Neuen Alpentransversalen (NEAT) der Bahn an Gotthard und Lötschberg hatten zuvor ergeben, dass es nicht möglich ist, die übermässige Belastung der Atemluft mit kanzerogenen Russpartikeln allein durch eine verstärkte Frischluftzufuhr auf ein tolerierbares Niveau abzusenken. Deshalb setzte man unmittelbar bei den zahlreichen Emissionsquellen an.

Besserer Schutz der Mineure

Unter den Extrembedingungen des Untertagebaus wurden verschiedene Partikelfiltersysteme in langfristig angelegten Praxisversuchen ausgiebig getestet. Dabei zeigte sich, dass optimal dimensionierte Filter selbst den Dieselmotorausstoss von älteren Baumaschinen um mehr als 99 Prozent reduzieren können. Bei einer konsequenten Nachrüstung geht die Belastung der Mineure mit lungengängigen Russpartikeln auf wenige Promille des ursprünglichen Wertes zurück. Gestützt auf das erfolgreiche Pilotprojekt, führte die Suva deshalb im März 2000 ein Filterobligatorium für alle Dieselmotoren im Tunnelbau ein.

Eignungstest entscheidet über die Zulassung

Die vertiefte Felderprobung brachte allerdings auch zutage, dass längst nicht alle angebotenen Partikelfilter den hohen Anforderungen gerecht werden. Um unbefriedigende Nachrü-



Tunnelarbeiter beim Bau der Neuen Alpentransversale (NEAT) am Gotthard. Zum Schutz ihrer Gesundheit führte die Unfallversicherungsanstalt Suva bereits im Jahr 2000 ein Partikelfilterobligatorium für alle Dieselmotoren im Tunnelbau ein.

tungen mit ineffizienten Abgasreinigungssystemen zu verhindern, wurde zunächst der sogenannte VERT-Eignungstest eingeführt. In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Normen-Vereinigung (SNV) beauftragte das BAFU anschliessend Vertreter aus Industrie, Verbänden, Bundesverwaltung, Hochschulen, Forschungsinstituten und Prüfstellen sowie weitere Fachexperten, die Norm SN 277206 zu erarbeiten. Diese legt aus technischer, physikalischer und chemischer Sicht Methoden sowie Verfahren für die Prüfung der Wirksamkeit und Tauglichkeit von Partikelfiltersystemen für Verbrennungsmotoren fest – namentlich für Nutzfahrzeuge, Busse, Baumaschinen und stationäre Anlagen, aber auch für Personenwagen.

Zu diesem Zweck werden Filtersysteme unter vielfältigen Betriebsbedingungen bezüglich ihres Emissionsverhaltens geprüft. Dabei untersuchen Fachleute von zertifizierten Labors etwa die Funktion des Filters im Neuzustand, mit angereichertem Russ, während der Regeneration oder im stationären und dynamischen Betrieb. Systeme, die den angesammelten Russ mithilfe von katalytisch wirkenden Substanzen abbrennen, werden zudem hinsichtlich der Entstehung von toxischen Sekundäremissionen getestet, die sich durch spezielle Beschichtungen oder chemische Reaktionen mit Additiven bilden könnten. Im Weiteren beinhaltet die Filterprüfung gemäss dieser Norm eine Nachmessung des Partikelfilters nach mindestens 1000 Stunden im überwachten betrieblichen Einsatz.

BAFU-Filterliste für konforme Systeme

Die im Rahmen des VERT-Projekts erstellte Liste aller erfolgreich getesteten Filtermodelle ist seit Ende der 1990er-Jahre periodisch aktualisiert worden. Die laufende Anpassung der inzwischen vom BAFU geführten Filterliste an den Stand der Technik wird dem dynamischen Charakter der gesetzlichen Vorgaben gerecht, da sich im Zuge der technischen Weiterentwicklung auch die vielfältigen Anforderungen an nachrüstbare Partikelfilter verändern.

Im Frühjahr 2011 umfasste die BAFU-Filterliste über 70 Systeme von mehr als 30 verschiedenen Herstellern. Alle aufgeführten Modelle verfügen über eine Konformitätsbescheinigung, die nachweist, dass sie den Vorschriften der schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) genügen. Voraussetzung dazu ist ein Abscheidegrad von mindestens 97 Prozent, der insbesondere auch für die lungengängigen ultrafeinen Partikel gilt. Wie die im Lauf von anderthalb Jahrzehnten gesammelten Erfahrungen zeigen, erweisen sich die empfohlenen Filtersysteme bei richtiger Auswahl und Wartung als technisch sichere Lösung, um die gefährlichen Russmissionen von Dieselmotoren weitgehend zu eliminieren. Damit eignen sie sich für die Nachrüstung von Baumaschinen, schweren Nutzfahrzeugen, weiteren mobilen Maschinen und Geräten mit Dieselantrieb sowie von stationären Verbrennungsmotoren wie etwa Generatoren. Weil einige Hersteller

mittlerweile auch Motoren anbieten, die serienmässig ab Werk mit Partikelfiltern ausgerüstet werden, hat das BAFU seine Filterliste um diese LRV-konformen Motorentypen ergänzt.

Trotz Fortschritten im Bereich der Motorentechnologie gibt es für die meisten Anwendungen derzeit keine ähnlich wirkungsvolle Alternative zum Partikelfilter. Anderweitige Massnahmen wie der Oxidationskatalysator, Nassabscheider, der Einsatz von Sonderkraftstoffen und motorinterne Entwicklungen können das lufthygienische Problem der enorm hohen Konzentration von bis zu 10 Millionen Partikel pro Kubikzentimeter im Abgasstrom entweder gar nicht oder nur unzureichend entschärfen. Dabei bleibt die Problematik bestehen, dass moderne Motoren ohne Partikelfilter zwar die Gesamtmasse des emittierten Russes vermindern, oft aber trotzdem eine vergleichbar hohe Anzahl von ultrafeinen Russpartikeln ausstossen.



Gesetzeskonforme Partikelfiltersysteme für leistungsstarke Dieselmotoren, wie sie etwa in Schiffen und Lokomotiven zum Einsatz kommen, müssen mindestens 97 Prozent der Russpartikel abscheiden.

Foto: BAFU / Fotoagentur AURA, Luzern

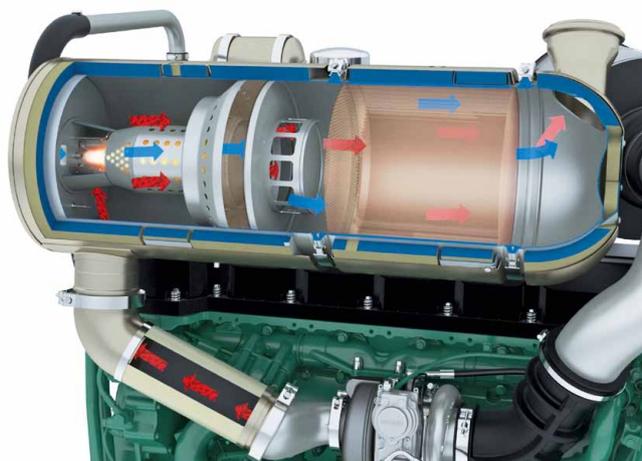
Funktionsweise der Partikelfilter

> Massgeschneiderte Anpassung an den Motor

Für die Nachrüstung von Dieselmotoren mit einem Abgasreinigungssystem gibt es keine einfachen Standardlösungen. Vor allem im Non-Road-Bereich drängt sich eine optimale Anpassung des Partikelfilters an die jeweiligen Betriebsbedingungen auf.

Mit mehr als 20 000 Nachrüstungen hat die Schweiz auf dem Gebiet der Abgasreinigung von Dieselmotoren durch Partikelfiltersysteme Pionierarbeit geleistet. Wie bei allen technischen Neuerungen sah man sich auch in diesem Bereich mit Kinderkrankheiten konfrontiert, deren fundierte Abklärung entscheidend zur Weiterentwicklung und Verbesserung der Technologie beigetragen hat.

Klagen über nicht funktionierende Abgasfilter gab es vor allem aus der Bauindustrie, die – gestützt auf gesetzliche Vorgaben – als erste Branche auch ältere leistungsstarke Maschinen mit Partikelfiltern nachrüsten musste. Bemängelt wurden insbesondere Beschädigungen der Filtermaterialien durch Überhitzung oder Vibrationen, ungenügende Betriebstemperaturen, welche den automatischen Russabbrand – und damit die Filterregeneration – beeinträchtigen, sowie Verstopfungen wegen Russ und Asche, was zu einem kritischen Gegendruck im Motor führen kann.



Funktionsweise des Partikelfilters bei einem Radlader des schwedischen Baumaschinenherstellers Volvo: Der Vollstrombrenner (links) sorgt für eine regelmässige und zuverlässige Verbrennung der im Filtermedium angereicherten Russpartikel.

Fotografik: Volvo

Immer robustere Filtermaterialien

Aufgrund der inzwischen erzielten Qualitätsverbesserungen treten Probleme durch Hitzerrisse oder undichte Filter bei den stark verbreiteten Keramikmodulen aus Siliziumcarbid und Cordierit heute kaum mehr auf. Auch die einfach zu reinigenden Metallfilter sind mittlerweile viel robuster konstruiert.

Die höhere Widerstandsfähigkeit der Filtermedien ändert aber nichts daran, dass die Wahl des geeigneten Partikelfiltersystems bei jeder Nachrüstung vertiefte Abklärungen erfordert. Bis jetzt existiert nämlich kein serienmässig einsetzbarer Filter, der sich, unabhängig von der jeweiligen Maschine und dem Arbeitseinsatz, überall eignen würde. Um ein optimales Zusammenspiel von Motor und Partikelfilter gewährleisten zu können, braucht es spezifische Angaben zu Zustand und geplantem Einsatzbereich der Maschine, zur gewünschten Verfügbarkeit sowie zur Abgastemperatur im Betrieb. Diese Informationen sind hauptsächlich für die richtige Wahl des Regenerationssystems wichtig, das periodisch für einen kontrollierten Abbrand der im hitzebeständigen Filtermedium angesammelten Russpartikel sorgt.

Aktive und passive Regeneration

Bei stark geforderten Dieselmotoren, die hohe Abgastemperaturen von über 600 Grad Celsius erreichen, entzündet sich der im Filtersubstrat zurückgehaltene Russ in der Regel von selbst und brennt vollständig ab. Dabei bleiben jeweils nur geringe Mengen anorganischer Aschebestandteile im Partikelfilter zurück. Wenn die im Normalbetrieb erreichten Abgastemperaturen für ein spontanes Abbrennen nicht genügen, lässt sich die Entzündungstemperatur der Russrückstände durch eine katalytische Beschichtung des Filters oder durch Beigabe von Additiven im Treibstoff markant senken.

Allerdings sind diese passiven Regenerationssysteme für kleinere Motoren und Maschinen mit geringer oder unregelmässiger Auslastung oft nicht geeignet, weil hier die Wärmezufuhr ungenügend ist. Brennt der angereicherte Russ nicht regelmässig und vollständig ab, verstopft der Filter und der Gegendruck im Motor steigt an, was ihn stark beschädigen kann. In kritischen Fällen empfiehlt sich deshalb eine aktive

Regeneration. Soll diese während des Arbeitseinsatzes erfolgen, braucht es dazu ein Filtersystem mit einem Zusatzbrenner. Andernfalls besteht auch die Möglichkeit der Reinigung durch elektrisches Abbrennen im Stillstand der Maschine.

Zwingende Kontrolle des Gegendrucks

Um Motorschäden vorzubeugen, verfügen die in der BAFU-Filterliste empfohlenen Abgasreinigungssysteme alle über eine permanente elektronische Überwachung des Gegendrucks mit Alarm- und Speicherfunktionen. Wird die kritische Grenze von 200 Millibar (mbar) konstant überschritten, ist dies ein Indiz für eine nicht ausreichende Regeneration oder weist auf ein Problem des Dieselmotors hin – zum Beispiel durch eine übermässige Russbildung. Für katalytisch regenerierende Partikelfilter sind Datenaufzeichnungsgeräte erhältlich, die bereits bei Druckverhältnissen unter 200 mbar einen Voralarm auslösen. Hier kann der Maschinenführer einer drohenden Verstopfung des Filters begegnen, indem er den Motor kurzfristig einer grossen Belastung aussetzt, um auf diese Weise mittels einer höheren Abgastemperatur die erforderliche Regeneration auszulösen. Hilft dies nicht, so ist der Partikelfilter wohl so stark mit Asche beladen, dass er ausgebaut, extern regeneriert und mit Druckluft gereinigt werden muss.

Unter der Voraussetzung einer massgeschneiderten Nachrüstung, die alle wesentlichen Betriebsbedingungen eines Dieselmotors berücksichtigt und beim Einbau auch schwingungsdämpfende Massnahmen vorsieht, funktionieren Partikelfilter heute praktisch in allen Anwendungsbereichen problemlos.



Produktion von Keramikwaben als Filtermedium für leistungsstarke Partikelfilter. Schweizer Firmen gehören auf dem Gebiet der Abgasreinigung von Dieselmotoren zu den Pionieren.

Foto: BAFU / Fotoagentur AURA, Luzern

Markante Reduktion der Stickoxide

Dank einer Schweizer Entwicklung, die das BAFU mit Geldern seiner Umwelttechnologieförderung unterstützt hat, ist es seit einigen Jahren möglich, zusätzlich zum Russausstoss auch die hohen Stickoxidemissionen von Fahrzeugen und Maschinen mit Dieselantrieb nachträglich markant zu reduzieren. Praxistests mit einem älteren Bus und Versuche auf dem Motorenprüfstand ergaben eine Minderung der ebenfalls gesundheitsschädigenden Stickoxide um mehr als 90 Prozent. Damit genügen selbst «Oldtimer» aus der Zeit der ersten EURO-Abgasnorm den seit 2009 geltenden lufthygienischen Anforderungen für Neufahrzeuge gemäss den EURO-5-Vorgaben. Zur Entstickung wird den Abgasen in einem SCR-Katalysator eine wässrige Ammoniaklösung zudosiert. Dadurch entsteht aus den Stickoxiden in einer chemischen Reaktion harmloser Luftstickstoff und Wasserdampf.



Diese Keramikmodule sind bereit für den Einbau in grosse Partikelfilter. Die Dieselmotorspartikel werden im Innern der Keramikwaben zurückgehalten und periodisch abgebrannt.

Foto: BAFU / Fotoagentur AURA, Luzern

Entwicklung der Dieselerussmissionen

> Allmähliche Entlastung der Atemluft

Aufgrund der Entwicklung bei den Personenwagen nimmt der Bestand an Dieselmotoren im Inland laufend zu. Trotzdem ist ihr Russausstoss rückläufig, weil immer mehr Fahrzeuge und Maschinen über einen effizienten Partikelfilter verfügen.

Seit 1998 hat sich der Dieselölabsatz in der Schweiz – laut Angaben der Erdöl-Vereinigung – von damals 1,16 Millionen Tonnen auf rund 2,4 Millionen Tonnen im Jahr 2010 mehr als verdoppelt. Hauptgrund dieser Entwicklung ist die starke Zunahme dieselbetriebener Personenwagen (PW). Über 80 Prozent der insgesamt rund 1,3 Millionen Dieselmotoren im Inland entfallen auf Strassenfahrzeuge wie PW, leichte Nutzfahrzeuge, Lastwagen sowie Linien- und Reisebusse. Beim Rest handelt es sich um Maschinen im Non-Road-Bereich.

Übermässiger Russausstoss der Non-Road-Motoren

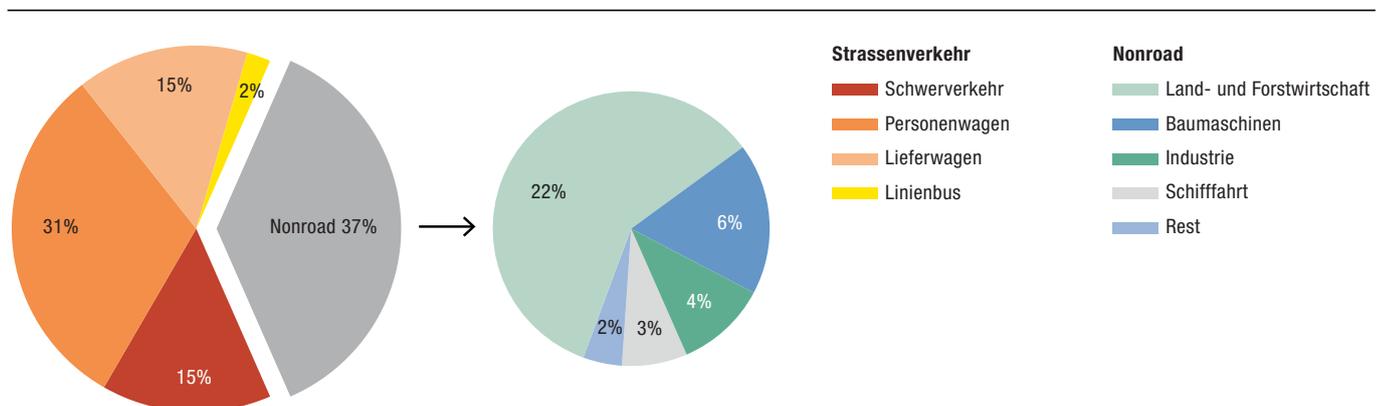
Im Jahr 2005 gingen knapp 20 Prozent des inländischen Dieselölverbrauchs von damals gut 1,7 Millionen Tonnen auf das Konto des Non-Road-Sektors. Wie Daten des BAFU zeigen, verursachte dieser Bereich damit fast 900 Tonnen Dieseleruss, was über 40 Prozent sämtlicher Emissionen entspricht. Davon stammten mehr als drei Viertel aus der Land- und Forstwirtschaft (47 Prozent) und der Baubranche (30 Prozent).

Der überproportional hohe Anteil des Non-Road-Sektors an den Partikelemissionen hängt unter anderem damit zusammen, dass in diesem Bereich viel mehr ältere Motoren im

Einsatz stehen als bei den Strassenfahrzeugen. Zudem gelten für solche Dieselmotoren markant höhere Emissionsgrenzwerte, die erst noch viel später eingeführt worden sind. Dies hat zum Beispiel zur Folge, dass sich die Russmissionen der landwirtschaftlichen Maschinen im Jahr 2005 mit knapp 400 Tonnen in der gleichen Grössenordnung bewegten wie diejenigen der schweren Nutzfahrzeuge, obwohl die Lastwagen (LKW) deutlich mehr Diesel verbrennen. Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung lag der Russausstoss von Traktoren und weiteren Dieselmotoren in der Landwirtschaft 2010 sogar schon 40 Prozent über demjenigen der LKW.

Positiver Effekt der Nachrüstungen

Durch die gesetzliche Pflicht zur Nachrüstung von älteren Baumaschinen mit Partikelfiltersystemen hat der entsprechende Russausstoss zwischen 2005 und 2010 fast um zwei Drittel abgenommen – nämlich von jährlich 270 auf rund 100 Tonnen. Im Vergleich dazu beläuft sich der Rückgang bei den landwirtschaftlichen Maschinen lediglich auf gut 20 Prozent. Aus wirtschaftlichen Erwägungen hat die Schweiz vorläufig auf die Einführung eines strengen Emissionsgrenzwerts (Anzahlgrenzwert) für Traktoren verzichtet. Weitere wichtige



Anteile der Russmissionen von Dieselmotoren im Jahr 2010 bei einem Gesamtausstoss von rund 1500 Tonnen.

Datenquelle: BAFU, Abteilung LUNIS

Gründe für die stark unterschiedliche Entwicklung bei den einzelnen Maschinen- und Gerätegattungen sind die generell älteren Dieselmotoren mit schlechteren Abgaswerten in der Landwirtschaft, die allgemein fehlende Bereitschaft zu deren Nachrüstung mit Partikelfiltern sowie das spätere Inkrafttreten von EU-Emissionsgrenzwerten für neue Traktoren. Dementsprechend wird der relative Anteil der landwirtschaftlichen Maschinen am Dieseluftausstoss künftig trotz einer Abnahme der Schadstoffmenge weiterhin ansteigen.

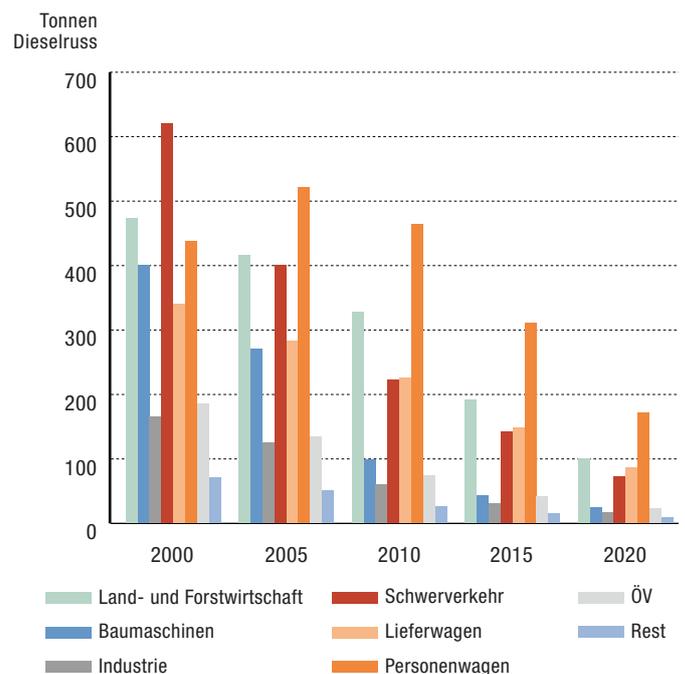
Als Folge der zunehmenden Verbreitung von Partikelfiltersystemen und schadstoffärmeren Motoren rechnet das BAFU bis 2020 mit einer Reduktion der Russmissionen sämtlicher Dieselmotoren im Non-Road-Sektor auf 160 Tonnen pro Jahr. Gemessen am Dieseluftausstoss aller Non-Road-Motoren wird der Anteil der Landwirtschaft dann auf über 60 Prozent steigen. Gleichzeitig dürfte der Russausstoss von dieselbetriebenen Strassenfahrzeugen auf gut 330 Tonnen sinken. Im Vergleich zum Ausgangsjahr 2000 mit Russmissionen aller Dieselmotoren von nahezu 2700 Tonnen entspricht der prognostizierte Rückgang auf weniger als 600 Tonnen immerhin einer Minderung um 80 Prozent.

Nötige Anpassung der Messverfahren

Eine alleinige Betrachtung der emittierten Russmenge erfasst freilich nur einen Teil des Problems. Aus gesundheitlicher Sicht sind nämlich insbesondere auch die ultrafeinen Verbrennungspartikel von Bedeutung. Deshalb ist die Partikelanzahl ein gutes Mass zur Erfassung der Russmissionen und dient auch als relevanter Indikator zur Qualitätsbeurteilung eines Russfilters. Unterstützt von der Umwelttechnologieförderung des BAFU sind in der Schweiz neue Messverfahren für die Ermittlung der Partikelanzahl entwickelt worden. Diese Innovation erlaubte es, in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für den zulässigen Russausstoss von Baumaschinen einen entsprechenden Emissionsgrenzwert einzuführen. Zudem hat sich die Schweiz auf internationaler Ebene stark für die Messung und Beschränkung der Partikelanzahl engagiert.

Die Europäische Union (EU) setzt mit den Abgasnormen EURO 5 und EURO VI für dieselbetriebene Strassenfahrzeuge nun ebenfalls auf dieses System. Dagegen wird mit den heute geltenden und geplanten Abgasstufen für Non-Road-Maschinen innerhalb der EU weiterhin nur die Partikelmasse begrenzt. Wie hierzulande laufen allerdings auch in Brüssel Diskussionen über die Einführung eines Anzahlgrenzwerts für diesen Bereich. Andernfalls könnten sich Partikelfiltersysteme als gegenwärtig bester Stand der Abgasreinigungstechnik nämlich nicht durchsetzen. So emittieren zum Beispiel neuste Dieselmotoren, die den geltenden Partikelmassegrenzwert durch innermotorische Massnahmen einhalten, bis zu 1000-mal so viele ultrafeine Russpartikel wie die mit einem effizienten Partikelfilter ausgerüsteten Dieselmotoren.

Dank neuen, feldtauglichen Messgeräten, deren Entwicklung das BAFU massgeblich gefördert hat, soll die bisher nur im Rahmen des Konformitätsverfahrens auf Prüfständen gemessene Partikelanzahl in der Schweiz bald einmal auch im Feldeinsatz kontrolliert werden können. Aus diesem Grund erarbeitet das Bundesamt für Metrologie (METAS) zusammen mit dem BAFU Anforderungen an Messgeräte, sodass deren Hersteller sie auch für den breiten Markt anbieten können. Damit dürfte es künftig auch einfacher sein, allfällige Defekte an Partikelfiltern rasch festzustellen.



Zeitliche Entwicklung der Russmissionen von Dieselmotoren

Datenquelle: BAFU, Abteilung LUNIS

Abgasreinigung bei Bussen und Lastwagen

> Der öffentliche Verkehr als Vorreiter

In der Schweiz verfügen heute praktisch alle Linienbusse mit Dieselantrieb über ein effizientes Partikelfiltersystem. Die Pionierrolle der öffentlichen Hand hat auch die Abgasreinigung der übrigen schweren Nutzfahrzeuge beschleunigt.

Die fast 5000 dieselbetriebenen Linienbusse des öffentlichen Verkehrs machen in der Schweiz zwar nur gut 7 Prozent aller Schwerverkehrsfahrzeuge aus. Doch mit ihrer überdurchschnittlichen Fahrleistung von rund 50000 Kilometer pro Jahr beeinträchtigen sie noch bis vor wenigen Jahren vor allem die Luftqualität in den stark belasteten Innenstädten und Agglomerationen, wo nach wie vor ein dringender Handlungsbedarf zur Senkung der übermässigen Russimmissionen besteht. Dies gilt insbesondere für schlecht durchlüftete Strassenschluchten an den Hauptverkehrsachsen. Das Zusammentreffen verschiedener Buslinien aus den Aussenquartieren, der speziell luftbelastende Stop-and-go-Verkehr wegen Staus und vieler Haltestellen sowie die kurzen Frequenzen führten hier zu einem erhöhten Abgasausstoss durch Dieselbusse. Als Folge davon waren Anwohnende, das Personal von angrenzenden Geschäften, Fussgänger, Radfahrerinnen und die Fahrgäste an den Haltestellen einer übermässigen Gesundheitsgefährdung ausgesetzt.

Bewährte CRT-Technik

Als sich im Lauf der 1990er-Jahre die wissenschaftlichen Erkenntnisse über das erhöhte Krebsrisiko durch Russpartikel verdichteten, rüsteten einige Verkehrsbetriebe ihre Dieselbusflotte mit Russfiltern nach. Ihre Erfahrungen mit der damals eingeführten CRT-Technik (Continuous Regenerating Trap), die neben Feinpartikeln auch die Schadstoffe Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe effizient abbaut, waren mehrheitlich positiv. Damit bildeten sie die Basis für eine erfolgreiche Weiterentwicklung dieser Technologie zur Marktreife. Inzwischen wird ein erweitertes System angeboten, das Oxidationskatalysator und Russfilter zusätzlich mit einer selektiven katalytischen Reduktion (SCR) der Stickoxide kombiniert. Um die Grenzwerte der Abgasstufe EURO VI erreichen zu können, statten heute viele Hersteller ihre Motoren ab Werk mit Dieselpartikelfilter und SCR-Technologie aus.

Finanzielle Anreize des Bundes

Für den Gegenwert eines einzigen Neufahrzeugs konnten die Transportunternehmen etwa 20 Dieselbusse nachrüsten, was die lokal grosse Wirkung dieser vergleichsweise kostengüns-

tigen Sanierungsmassnahme erklärt. Einzelne Kantone haben die Umrüstung aus allgemeinen Steuermitteln gefördert. Im Rahmen des nationalen Aktionsplans zur Reduktion der Feinstaubbelastung gilt seit 2008 ein weiterer finanzieller Anreiz, der dem Partikelfilter flächendeckend zum Durchbruch verholfen hat: So wird die Rückerstattung der Mineralölsteuer nur noch für Linienbusse mit geschlossenen Partikelfiltern gewährt. Als Folge davon verfügen inzwischen praktisch alle Dieselbusse über diese effiziente Form der Abgasreinigung. Die wenigen Ausnahmen betreffen insbesondere ältere Modelle kurz vor der Ausmusterung, deren abgastechnische Sanierung sich aufgrund der beschränkten Einsatzdauer nicht mehr lohnt.

Fortschritte bei Lastwagen

Die Schweiz hat ihre Abgasnormen für Strassenfahrzeuge Mitte der 1990er-Jahre mit den Bestimmungen der EU harmonisiert und übernimmt deren Richtlinien jeweils gleichzeitig in ihre nationalen Vorschriften. Die Einführung der



In der Schweiz verfügen mittlerweile praktisch alle Dieselbusse über ein wirksames Partikelfiltersystem. Damit sind die Fahrgäste an den häufig frequentierten Haltestellen in den Innenstädten nicht länger einer übermässigen Gesundheitsgefährdung durch die krebserregenden Russpartikel ausgesetzt.

Foto: Beat Jordi, Biel

Abgasnorm EURO VI für schwere Lastwagen (LKW) und Busse reduziert den zulässigen Partikelaustritt von neuen Fahrzeugtypen ab 1. Januar 2013 auf 10 Milligramm pro Kilowattstunde. Verglichen mit den heute geltenden Vorschriften vermindert die ein Jahr später für sämtliche neuen Nutzfahrzeuge eingeführte Limite die Russmissionen um zwei Drittel. Zwar wird keine bestimmte Technik vorgeschrieben, um die angestrebte Reduktion der Partikelmasse zu erreichen. Fachleute gehen jedoch davon aus, dass sich der verschärfte Grenzwert beim heutigen Stand der Technik nur mit einem geschlossenen Partikelfiltersystem einhalten lässt, zumal die Abgasvorschriften – wie von der Schweiz seit Längerem vorgeschlagen – nun erstmals auch eine Limite für die Anzahl der emittierten Feinpartikel festlegen. Führende Fahrzeughersteller wie Mercedes Benz und Scania haben ihre entsprechenden Neuentwicklungen der Dieselmotoren für LKW bereits im Frühjahr 2011 vorgestellt.

Bedingt durch die relativ lange Einsatzdauer der schweren Nutzfahrzeuge erfolgt die Erneuerung der Fahrzeugflotte in diesem Bereich allerdings erst mit grosser zeitlicher Verzögerung. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit haben die Schweizer Behörden deshalb verschiedene flankierende Massnahmen getroffen, damit sich die bereits seit Jahren verfügbaren Technologien für eine wirksame Abgasreinigung rascher durchsetzen.

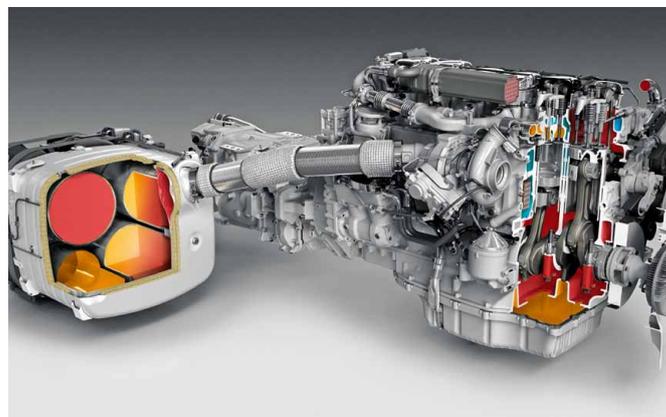
Beschleunigte Reduktion der Russmissionen

Dazu zählen etwa finanzielle Anreize für LKW der Schadstoffklassen EURO II und EURO III. Sofern solche Lastwagen über einen effizienten Russfilter verfügen, steht den Haltern ab Januar 2012 eine Ermässigung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) um 10 Prozent zu. Zudem hat der Bundesrat beschlossen, auch einen Rabatt von 10 Prozent für EURO VI-Fahrzeuge anzustreben. Auch die Verkehrsverlagerungspolitik der Schweiz wirkt sich positiv auf die Entwicklung der Partikelemissionen aus. So hat die im Jahr 2001 vom Bund eingeführte LSVA für LKW-Transporte die Attraktivität des Bahngüterverkehrs gesteigert und die Auslastung der Camions verbessert. Dadurch haben in den Folgejahren der Fahrzeugbestand sowie die Fahrleistungen der Lastwagen – und damit auch ihre Russmissionen – abgenommen.

Die Auspuffrohre der LKW sowie der Linien- und Reisebusse emittierten im Jahr 2000 noch rund 780 Tonnen Russ. Bis 2010 hat sich der Ausstoss der gut 66 000 schweren Nutzfahrzeuge mit Dieselmotoren im Inland auf etwa 270 Tonnen verringert. Gemäss Berechnungen im Auftrag des BAFU dürften die Partikelemissionen des Schwerverkehrs in den kommenden zehn Jahren nochmals deutlich auf zirka 80 Tonnen zurückgehen.

Anstrengungen zur Abgasreduktion laufen zudem auch auf kommunaler Ebene. So nehmen etliche Gemeinden eine Vorbildfunktion wahr, indem sie ihren Fuhrpark – wie etwa Kehrriechwagen, Schneepflüge oder Löschfahrzeuge – lange vor dem Inkrafttreten entsprechender Abgasvorschriften bereits mit Russpartikelfiltern bestellt oder nachträglich damit ausgerüstet haben.

Ausserdem engagiert sich die Schweiz auch im Ausland mit konkreten Projekten für die Reduktion der Russmissionen von Nutzfahrzeugen. Beispiele dafür sind etwa die von der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) geförderte Ausrüstung von Dieselnissen mit Partikelfiltern in der chilenischen Hauptstadt Santiago oder die Mithilfe bei der Erarbeitung von Umweltvorschriften zur Minderung des Russausstosses in China.



Die neuen EURO VI-Motoren für Nutzfahrzeuge stossen nur noch einen Bruchteil der bisher von LKW emittierten Russpartikel und Stickoxide aus. Der schwedische Hersteller Scania hat das gesamte Abgasreinigungssystem in der kompakten Schalldämpfereinheit (links) integriert.

Foto: Scania

Partikelfilter für Lokomotiven und Schiffe

> Abgasreinigung abseits der Strasse

Auf dem Schweizer Schienennetz verkehrt die weltweit grösste Flotte von dieselbetriebenen Lokomotiven mit Partikelfiltern. Auch auf den inländischen Seen sind immer mehr Fahrgastschiffe mit einer effizienten Abgasreinigung unterwegs.

Weil das dichte Bahnnetz im Inland weitgehend elektrifiziert ist, kommen Diesellokomotiven kaum für Langstreckenfahrten zum Einsatz. Sie werden primär im Güterverkehr benötigt – so zum Beispiel für Transporte von Wagenladungen auf Zubringergeleisen ohne Fahrleitung oder zum Rangieren in grossen Bahnhöfen. Leistungsstarke Lokomotiven mit Motoren bis zu 1700 Kilowatt werden – zusätzlich zum Rangierdienst – auch für Notfalleinsätze bei Stromausfall genutzt. Daneben dienen Schienentraktoren vor allem als Baufahrzeuge, da die Oberleitungen während Bauarbeiten aus Sicherheitsgründen nicht unter Spannung stehen dürfen.

Der gesamte Russausstoss aller Schienenfahrzeuge mit Dieselantrieb belief sich im Jahr 2005 auf zirka 23 Tonnen, was damals lediglich 1 Prozent der inländischen Russmissionen aus Dieselmotoren ausmachte. Trotz des geringen Anteils können die Schadstoffe lokal durchaus von Bedeutung sein. Dies gilt etwa für überdachte Perrons in schlecht durch-

lüfteten Bahnhofshallen, wie man sie auch im Ausland häufig noch antrifft. Problematisch ist, dass wartende Fahrgäste und das Bahnpersonal dort den Abgasen in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen ausgesetzt sind.

Abgasvorschriften für den Schienenverkehr

Zwecks Reduktion dieser Russbelastungen enthalten die vom Bundesamt für Verkehr (BAV) im Jahr 2010 letztmals revidierten Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung neuerdings strenge Abgasvorschriften für Dieselmotoren. Demnach müssen künftig alle neu beschafften Diesellokomotiven über einen wirksamen Partikelfilter – gemäss den Anforderungen der BAFU-Filterliste – verfügen oder mit einem anderen, gleichwertigen System zur Emissionsminderung ausgerüstet sein. Bei einer Auswechslung des Motors gilt diese Vorgabe auch für bestehende Fahrzeuge.

Führende Rolle der SBB

Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) werden ihrem guten Ruf als ökologisch fortschrittliches Transportunternehmen gerecht, indem sie neue Dieselfahrzeuge schon seit 2004 konsequent mit Partikelfilter bestellen und überdies auch die älteren Dieselmotoren entsprechend nachrüsten. 2010 waren bereits 69 Prozent aller Lokomotiven und 77 Prozent der installierten Motorenleistung mit einem Russfiltersystem ausgestattet. Die Division Cargo will in den kommenden Jahren veraltete Dieselfahrzeuge ausrangieren und durch 30 neue, leistungsstarke Hybridlokomotiven der Schweizer Firma Stadler Rail ersetzen. Sie kombinieren die Elektrotraktion mit einem dieselgestützten Hilfsantrieb. Mit den geplanten Neubeschaffungen und weiteren Umrüstungen sollen im Bahngüterverkehr bis Mitte 2014 sämtliche Lokomotiven über ein Abgasreinigungssystem verfügen.

Damit nimmt die SBB im internationalen Vergleich eine führende Rolle ein. So gilt etwa das vom deutschen Hersteller Vossloh im Jahr 2005 an die Bundesbahnen gelieferte Modell AM 842 als sauberste Diesellokomotive Europas. Nebst dem Partikelfilter ist bei neuen Baudiensttraktoren der SBB vom



Diesellokomotiven wie die leistungsstarke Am 843 werden auf dem schweizerischen Schienennetz vor allem für den Rangierdienst und im Güterverkehr eingesetzt – so etwa für Transporte von Wagenladungen auf Zubringergeleisen ohne Fahrleitung. Seit 2004 verfügen alle neuen SBB-Lokomotiven mit Dieselantrieb über einen Partikelfilter.

Typ Tm 234 auch eine Abgasreinigungsanlage zur Reduktion der Stickoxide eingebaut.

Russfreie Atemluft auf dem Schiffsdeck

Mit einem Ausstoss von 26 Tonnen im Jahr 2005 fallen auch die Russemissionen der gut 150 Passagierschiffe auf den Schweizer Gewässern mengenmässig nur unwesentlich ins Gewicht. Trotzdem können die Partikelbelastungen für Fahrgäste, Matrosen und das Servierpersonal auf den beliebten Aussendecks gesundheitlich problematische Konzentrationen erreichen.

Aus diesem Grund hat die Schweiz 1994 mit der Verordnung über die Abgasemissionen von Schiffsmotoren (SAV) als erstes Land eine flächendeckende Vorschrift eingeführt. Seit 2007 legt die revidierte Verordnung für alle Dieselmotoren von neuen Fahrgast- und Güterschiffen im gewerbsmässigen Einsatz eine Partikelfilterpflicht fest. Bei einer Auswechslung der Maschinen sind grundsätzlich auch ältere Passagierschiffe mit Russfiltern auszustatten, sofern diese Nachrüstung technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Trotz der vielfach engen Platzverhältnisse im Motorenraum lässt sich eine Umrüstung in der Regel auch bei bestehenden Motoren realisieren. Dies bestätigen positive Erfahrungen der Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft (ZSG), die bis Ende 2010 ihre gesamte Flotte von 15 Schiffen auf Zürichsee und Limmat mit Partikelfiltern ausgerüstet hat. Die von einer Schweizer Firma entwickelten Abgasreinigungssysteme für leistungsstarke Motoren funktionieren technisch einwandfrei und haben kaum Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch.



Bei den dieselbetriebenen SBB-Baudienstraktoren des Typs Tm 234 ist das Abgasreinigungssystem aus Platzgründen im Dachaufbau untergebracht.

Foto: Rolf Nyffeler

Auch auf dem Vierwaldstättersee verfügen mittlerweile einige der bis zu fünf Jahrzehnte im Einsatz stehenden grossen Motorschiffe über eine solche Abgasreinigung, welche gut 99 Prozent des Russes zurückhält. Diese beiden Seen mit dem lufthygienisch besten Angebot sind die Magnete des Schweizer Schiffstourismus und ziehen jeweils fast die Hälfte der jährlich mehr als 12 Millionen Passagiere auf unseren Gewässern an.

Durch Neubeschaffungen und Nachrüstungen dürften die motorischen Partikelemissionen der Passagierschiffe – bei einer ungefähr konstanten Fahrleistung von jährlich rund 2,5 Millionen Kilometern – bis 2015 auf 11 Tonnen und bis 2020 schliesslich auf 7 Tonnen abnehmen.



Dank Partikelfiltern können Fahrgäste und Mannschaft des Katamarans MS Cirrus auf dem Vierwaldstättersee auch auf den beliebten Aussendecks ohne Gesundheitsgefährdung durchatmen.

Foto: Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV), Luzern

Abgasreinigung bei Baumaschinen

> Bessere Luft auf Baustellen

In den lufthygienisch am stärksten belasteten Siedlungsgebieten sind die Baumaschinen – neben dem Strassenverkehr – die wichtigsten Emissionsquellen von Dieselmotoren. Zum Schutz der Anwohner und Beschäftigten gelten auf Grossbaustellen bereits seit 2002 strenge Abgasvorschriften.

Mit Bauausgaben von knapp 18 Milliarden Franken im Jahr 2009, die ungefähr ein Drittel der gesamten Bauinvestitionen in der Schweiz ausmachen, gehören Bund, Kantone und Gemeinden zu den bedeutendsten Auftraggebern der privaten Bauindustrie. Aufgrund dieser Nachfragemacht kann die öffentliche Hand bei der Ausschreibung von Aufträgen einen gewissen wirtschaftlichen Druck ausüben und erfolgreich Forderungen stellen, die auch im Bereich des Umweltschutzes weiter gehen, als es die gesetzlichen Bestimmungen verlangen.

Wie die Erfahrungen des Pilotprojekts VERT im Tunnelbau bereits in den 1990er-Jahren gezeigt haben, lässt sich der hohe Russausstoss von dieselbetriebenen Baumaschinen durch den Einsatz von geschlossenen Partikelfiltersystemen um mindestens 97 Prozent reduzieren. Gestützt auf diese Erkenntnisse, verlangten einzelne Kantone – wie etwa Zürich und Luzern – die entsprechende Abgasreinigung in der Folge auch auf ande-

ren Grossbaustellen, so zum Beispiel beim Ausbau des Flughafens in Kloten (ZH) oder bei Autobahnsanierungen.

Schutz der Umgebung

Auf grossen Baustellen stehen häufig mehrere leistungsstarke Dieselmotoren gleichzeitig und auf engem Raum im Einsatz. Wegen dieser Konzentration und der besonders in Baugruben mangelnden Verdünnung der Dieselabgase können sich in der Umgebungsluft hohe Russgehalte bilden, sofern die Maschinen nicht mit Partikelfiltern ausgestattet sind. Dies setzt nicht nur die Beschäftigten, sondern auch Anwohnende und Passanten sowie das Personal von Geschäften in Baustellennähe einem erhöhten Gesundheitsrisiko durch die krebserregenden Feinpartikel aus.

Um die Bevölkerung besser zu schützen, setzte das BAFU im September 2002 die Baurichtlinie Luft in Kraft. Sie führte auf grösseren Baustellen die Partikelfilterpflicht für Baumaschinen mit einer Leistung ab 18 Kilowatt (kW) ein. In der Praxis zeigte sich aber, dass nicht alle Kantone die Vorgaben einheitlich umsetzten. So führte etwa die ungleiche Behandlung von grossen und kleinen Baustellen zu Unklarheiten im Vollzug. Deshalb erteilte das Parlament dem Bundesrat den Auftrag, die Vorschriften zur Luftreinhaltung beim Einsatz von Baumaschinen landesweit zu harmonisieren. Daraufhin verankerte die Regierung die Bestimmungen der Richtlinie verbindlich in der LRV und dehnte die Partikelfilterpflicht auf sämtliche Baustellen aus.

Neuer Partikelanzahlgrenzwert in der LRV

Seit Januar 2009 gelten nun in der Schweiz überall die gleichen Abgasvorschriften – unabhängig von der Dauer und Grösse einer Baustelle. Betroffen von der LRV-Bestimmung sind alle neuen Maschinen und Geräte mit einem Dieselantrieb in der Leistungsklasse ab 18 kW. Sie müssen zusätzlich zu den EU-Vorschriften einen strengen Partikelanzahlgrenzwert von 1×10^{12} Partikel pro Kilowattstunde erfüllen, der gemäss dem heutigen Stand der Technik nur mit einem geschlossenen Partikelfiltersystem zu erreichen ist.



Für leistungsstarke Baumaschinen wie diesen Dumper gilt in der Schweiz auf grösseren Baustellen faktisch bereits seit dem Jahr 2002 ein Partikelfilterobligatorium.

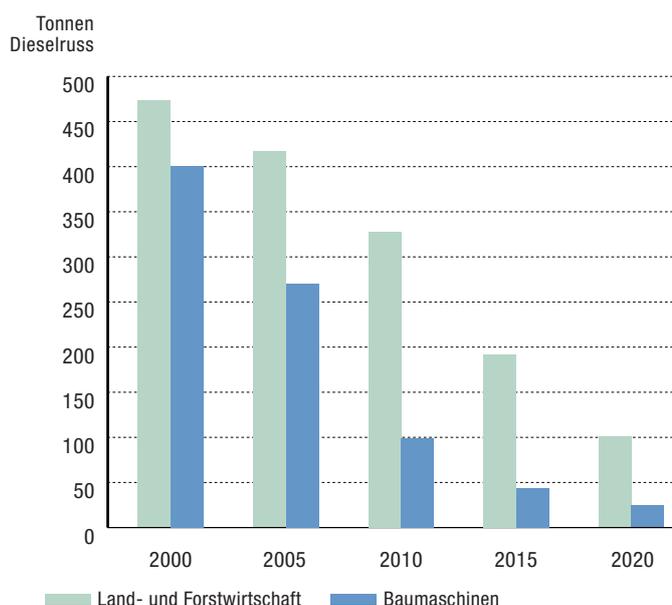
Der Bundesrat hat anlässlich der LRV-Revision jedoch bewusst auf das früher geltende Filterobligatorium verzichtet, denn es ist denkbar, dass in Zukunft weitere Technologien zur Minderung der Russpartikelanzahl entwickelt werden, welche die Schweiz nicht behindern möchte. Für leistungsstarke Dieselmotoren ab 37 kW, bei denen die Technik der Abgasreinigung bereits weit fortgeschritten ist, gilt der Emissionsgrenzwert auch für den bestehenden Maschinenpark. Bei Geräten mit Baujahr ab 2000 ist die Limite schon heute einzuhalten, während ältere Motoren spätestens bis Mai 2015 abgastech-nisch saniert sein müssen. Ab dem Baujahr 2010 gilt auch für Baumaschinen in der Leistungsklasse zwischen 18 und 37 kW faktisch eine Partikelfilterpflicht. Von der LRV-Revision nicht betroffen sind alle Dieselmotoren unter 18 kW.

Um die Konformität einer Baumaschine mit den Bestimmungen der LRV nachzuweisen, kommt wahlweise eine Messung der Partikelanzahlemissionen auf dem Prüfstand ab Werk in Frage oder aber die Ausrüstung der Maschine mit einem geprüften Partikelfiltersystem gemäss der BAFU-Filterliste. Die neu eingeführte Konformitätsprüfung kann auch ausserhalb der Schweiz stattfinden – zum Beispiel in Schweden für die hiezulande häufig verkaufte Baumaschinen von VOLVO. Für die Bauunternehmen als Käufer solcher Geräte ist die Konformitätsbescheinigung eine Erleichterung, weil sie sich nicht mehr selber um die rechtskonforme Abgasreinigung ihrer Dieselmotoren kümmern müssen.

Fortschritte bei der Nachrüstpflicht

Die Schweiz hat bei der Reduktion der Russemissionen im Bereich der Baumaschinen bereits grosse Erfolge erzielt. Hauptgründe dafür sind die Nachrüstpflicht für leistungsstarke Motoren sowie die – im Vergleich zum Ausland – höhere Erneuerungsrate. Durch Ersatzbeschaffungen von Baumaschinen, bei denen heute zunehmend der Hersteller direkt die Montage des Abgasreinigungssystems übernimmt, werden Dieselmotor und Partikelfilter künftig bei immer mehr Geräten optimal aufeinander abgestimmt sein. Damit erübrigt sich für die Halter in naher Zukunft auch die abgastech-nische Nachrüstung.

In den am meisten belasteten Siedlungsgebieten sind die Baumaschinen – neben dem Strassenverkehr – zwar nach wie vor die wichtigsten Verursacher von Dieselmotorspartikeln. Allerdings hat ihr schweizweiter Ausstoss zwischen 2000 und 2010 markant von rund 400 Tonnen auf etwa 100 Tonnen pro Jahr abgenommen. Bis 2020 ist aufgrund der beschlossenen Massnahmen mit einem weiteren deutlichen Rückgang zu rechnen, sodass die künftigen Russemissionen der Baumaschinen dann noch zirka 5 Prozent des entsprechenden Partikel-ausstosses um die Jahrtausendwende ausmachen werden.



Im Vergleich zur Landwirtschaft nehmen die Russemissionen des Bausektors viel schneller und deutlicher ab.

Datenquelle: BAFU, Abteilung LUNIS

Abgasreinigung bei Pistenfahrzeugen

> Mit Partikelfiltern auf der Skipiste

In den Schweizer Wintersportgebieten stehen fast 1000 Pistenfahrzeuge mit leistungsstarken Dieselmotoren im Einsatz. Aufgrund einer Vereinbarung ihres Branchenverbandes mit dem Bund beschaffen immer mehr Bergbahnen neue Maschinen nur noch mit Partikelfiltern.

Pistenraupen arbeiten zum Teil unter extremen Bedingungen. In bekannten Schweizer Wintersportorten wie Davos, St. Moritz, Zermatt, Montana, Verbier, Gstaad, Grindelwald oder Engelberg präparieren sie Skipisten, Loipen und Wanderwege in Höhenlagen bis zu 3500 Meter über Meer. Dort herrschen Aussentemperaturen oft weit unter dem Gefrierpunkt. Pro Saison sind die Fahrzeuge in grösseren Skigebieten durchschnittlich 1000 Betriebsstunden unterwegs und verbrauchen dabei mindestens 25 Liter Diesel pro Stunde.

Vor allem an Steilhängen wird den leistungsstarken Dieselmotoren einiges abverlangt. Je nach Alter und Belastung der Pistenfahrzeuge entweichen ihren Auspuffrohren bisweilen schwarze Abgasfahnen. Die gesundheitsschädigenden Russwolken passen jedoch schlecht zum Image des Wintertourismus, der unter anderem vom Naturerlebnis und der guten Luftqualität in den Bergen lebt. Problematisch sind die Russemissionen insbesondere, wenn ältere Pistenraupen in

Siedlungsnähe für den Loipendienst, die Schneeräumung oder für Personentransporte eingesetzt werden. In solchen Fällen belasten ihre Abgase nämlich die Atemluft von Fahrgästen, Passanten, Personal sowie Sporttreibenden in unmittelbarer Nähe und können damit deren Gesundheit beeinträchtigen.

Partikelfilter setzen sich durch

Die umweltpolitische Diskussion über krebserregende Feinstaubemissionen veranlasste die damalige Celeriner Bergbahnen AG im Oberengadin bereits 2006 zum Handeln. Als weltweit erste Wintersportregion bestellte sie beim deutschen Weltmarktführer Kässbohrer einen «PistenBully» der stärksten Leistungsklasse mit Partikelfilter. Anfängliche Befürchtungen, die erforderlichen Abgastemperaturen für die Filterregeneration durch spontanen Abbrand der Russpartikel würden nicht erreicht, erwiesen sich als unbegründet, und auch der Einsatz auf 3000 Meter über Meer bereitet bis heute keinerlei Probleme.

Das Oberengadin hat auf diesem Gebiet der Lufthygiene Pionierarbeit geleistet. So verfügt etwa die Bergbahnen Engadin St. Moritz AG für die Betreuung von insgesamt 200 Kilometer Skipisten über eine Flotte von 24 Raupenfahrzeugen, die grösstenteils bereits heute mit einem geschlossenen Dieselfussfilter ausgerüstet sind. In den Bündner Skigebieten, wo rund 380 der schweizweit knapp 1000 Pistenfahrzeuge im Einsatz stehen, wird inzwischen die grosse Mehrheit der neuen Modelle mit einem effizienten Partikelfilter ausgeliefert. Dabei wäre diese Form der Abgasreinigung aufgrund der in Europa geltenden Emissionsvorschriften für solche Non-Road-Motoren weiterhin nicht zwingend.



Klimatischer Härte-test für das Abgasreinigungssystem im Hochgebirge: Obwohl saubere Pistenfahrzeuge wie die Produkte des deutschen Weltmarktführers Kässbohrer zum Teil auf 3000 Metern über Meer und bei Aussentemperaturen weit unter dem Gefrierpunkt im Einsatz stehen, werden die erforderlichen Abgastemperaturen für den spontanen Abbrand der im Partikelfilter angesammelten Russteilchen problemlos erreicht.

Foto: Kässbohrer

Siegeszug des CRT-Systems

Bewährt haben sich insbesondere CRT-Partikelfilter aus Sintermetallen. Die gute Wärmeableitung und Elastizität dieser Werkstoffe bewahren die Filter vor Hitzeschäden und ermöglichen den Rückhalt von beträchtlichen Russmengen, ohne einen starken Gegendruck zu erzeugen, der den Motor beeinträchtigen könnte. Dank der hohen Aschespeicherfähigkeit und dem niedrigen Abgasgegendruck ist auch der Reini-

gungs- und Wartungsaufwand gering. Vereinzelt Probleme durch das Verstopfen der Partikelfilter führen Fachleute auf Nachrüstungen zu alter Motoren mit übermässigem Schadstoffausstoss, den nicht erlaubten Einsatz von Heizöl als Treibstoff oder auf zu hohe Schwefelgehalte im verwendeten Diesel zurück.

Dagegen funktionieren alle vorschriftsgemäss betriebenen Fahrzeuge mit neueren Motoren, die bereits im Werk mit Russfiltern ausgerüstet worden sind, auch nach mehr als 3000 Einsatzstunden problemlos. Hersteller von leistungsstarken Dieselmotoren für Pistenraupen stellen ihre Produkte auf Wunsch heute denn auch standardmässig mit solchen Partikelfiltern aus und übernehmen dabei die übliche Motorengarantie. Weil es sich nicht mehr um einzelne Sonderanfertigungen handelt, sind die Mehrkosten von früher bis zu 25 000 Franken für die Filterausrüstung einer Pistenraupe mittlerweile auf rund 13 000 Franken gesunken. Bei Beschaffungskosten von etwa 450 000 Franken für ein solches Fahrzeug macht der Einbau eines Partikelfiltersystems noch ungefähr 3 Prozent des Gesamtpreises aus.

Vereinbarung zwischen Bund und Bergbahnen

Wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, ist die Reduktion der Russemissionen bei Pistenraupen heute etablierter Stand der Technik und für die Betreiber auch wirtschaftlich tragbar. Nach dem Willen der Umweltbehörden soll sich die saubere Technologie in den Schweizer Wintersportgebieten deshalb möglichst flächendeckend durchsetzen. Aus diesem Grund hat das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kom-

munikation (UVEK) mit dem Branchenverband Seilbahnen Schweiz (SBS) Ende 2009 eine freiwillige Vereinbarung zur Ausrüstung von neuen Pistenfahrzeugen mit Partikelfiltern getroffen. Zur Verbesserung der Luftqualität sollen gemäss dieser Absichtserklärung ab 2010 nur noch Pistenraupen mit Russfiltern oder gleichwertigen Technologien zur Emissionsminderung in Verkehr genommen und der Anteil solcher Fahrzeuge dadurch kontinuierlich gesteigert werden.

Einzelne Kantone kennen weitergehende Abgasvorschriften und schreiben Russfilter für Pistenfahrzeuge zum Teil in ihren Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung vor – so etwa in der Zentralschweiz. Die Anbieter haben damit keine wesentlichen Probleme. Neben Kässbohrer verkauft auch der zweite wichtige Hersteller Prinoth aus dem Südtirol saubere Pistenfahrzeuge, die auf Wunsch der Kundschaft inzwischen standardmässig mit einem Partikelfilter ausgerüstet sind.



CRT-Partikelfilter aus Sintermetallen, wie sie für Dieselmotoren von Pistenfahrzeugen eingesetzt werden, halten beträchtliche Russmengen zurück, ohne einen hohen Gegendruck zu erzeugen, der den Motor beeinträchtigen könnte.

Abgasreinigung bei Traktoren

> Eine Frage des Geldes

Dieselmotoren der Land- und Forstwirtschaft verursachen im Inland etwa ein Fünftel aller motorischen Russmissionen. Dieser Anteil wird in naher Zukunft stetig zunehmen, weil die Ausrüstung der Traktoren mit den besten Technologien zur Abgasreinigung nur mit grosser Verzögerung erfolgt.

Bis Ende 2010 durften neue Traktoren mit der hierzulande am meisten verbreiteten Motorenleistung zwischen 37 und 75 kW noch 0,4 Gramm (g) Dieselmotoren pro Kilowattstunde (kWh) emittieren. Mit der verschärften EURO-Abgasnorm III B, deren schrittweise Umsetzung per 1. Januar 2013 abgeschlossen ist, gilt ein wesentlich strengerer Partikelgrenzwert von 0,025 g/kWh. Dies kommt einer Reduktion um mehr als 93 Prozent gleich.

John Deere als Marktführer in der Schweiz erfüllt die abgasteknische Vorgabe mit einem geschlossenen Partikelfilter. Andere bekannte Produzenten setzen dagegen auf die motorinterne Partikelreduktion und eine Nachbehandlung der Stickoxide mit dem SCR-Abgasreinigungssystem. Damit wird die Masse der ausgestossenen Russpartikel ausreichend vermindert, die Partikelanzahl jedoch viel weniger effizient reduziert. Dies ist rechtlich zulässig, weil die EURO-Abgasstufe III B für dieselbetriebene Non-Road-Motoren zwar die Gesamtmasse der emittierten Russpartikel, nicht aber deren Anzahl limitiert.

Langsame Erneuerung des Motorenbestands

Wie die Ergebnisse der landwirtschaftlichen Betriebszählungen zeigen, ist der Traktorenbestand im Inland seit Jahren leicht rückläufig. 2010 waren noch etwa 105 000 Dieselfahrzeuge im Einsatz, von denen gegenwärtig rund 2200 pro Jahr durch Neubeschaffungen ersetzt werden. Weil der Bestand auch Tausende von Oldtimern umfasst, die nur noch sporadisch in Betrieb sind, erstreckt sich der Erneuerungszyklus des landwirtschaftlichen Maschinenparks über rund 30 Jahre.

Infolge des hohen Durchschnittsalters der Traktoren, der späteren Einführung von Abgasnormen sowie der fehlenden Nachrüstung mit Partikelfiltern nimmt der Russausstoss dieses Wirtschaftsbereichs viel langsamer ab als die Partikelemissionen der meisten anderen Maschinengattungen. Mit über 300 Tonnen Dieselmotoren im Jahr 2010 belastet der landwirtschaftliche Sektor die Luft inzwischen dreimal so stark wie sämtliche Baumaschinen im Inland. Noch um die Jahr-

tausendende emittierten die zwei Branchen jährlich je zirka 400 Tonnen Russpartikel. Der Anteil der Landwirtschaft am gesamten motorischen Russausstoss wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen, denn im Gegensatz zu den leistungsstarken Baumaschinen besteht für Traktoren keine Nachrüstpflcht.

Technisch ist die Nachrüstung möglich

Ein vom BAFU unterstütztes Projekt der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz in Tänikon TG hat vor einigen Jahren gezeigt, dass eine nachträgliche Ausrüstung von Traktoren mit effizienten Russfiltern technisch möglich ist. Wie bei Baumaschinen gibt es für die Abgasreinigung allerdings keine Standardlösung. Jeder Partikelfilter muss sorgfältig auf den



Aus technischer Sicht ist die Nachrüstung von Traktoren mit Dieselpartikelfiltern machbar, doch die damit verbundenen Kosten erweisen sich als hohe Hemmschwelle.

Foto: Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern

jeweiligen Motor und die je nach Lastbereich schwankende Abgastemperatur abgestimmt werden. Dann hält er bei regelmässiger Wartung und Pflege über 99 Prozent der gesundheitsschädigenden Dieselerussmissionen zurück.

Eine allfällige freiwillige Nachrüstung kommt in erster Linie den Bauern selbst und weiteren Beschäftigten in der Landwirtschaft zugute – wie beispielsweise Personen, die bei der Ernte mitarbeiten. Je nach Windverhältnissen sowie Alter und Konstruktion des Traktors sind diese im Feldeinsatz nämlich ungeschützt den teils hohen Russkonzentrationen exponiert.

Finanzielle Hemmschwellen

Die nachträgliche Ausrüstung eines Traktors mit einem Partikelfilter verursacht heute auch bei kleineren Maschinen Kosten von mindestens 8000 Franken pro Dieselmotor. Um die finanzielle Hemmschwelle einer solchen Investition zu senken, hat etwa der Kanton Bern im Rahmen eines zweijährigen Technologieprojekts die Ausrüstung von 18 landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit Partikelfiltern zu drei Vierteln subventioniert. Der 2011 abgeschlossene Praxistest war erfolgreich, doch schrecken die relativ hohen Kosten einer Nachrüstung von durchschnittlich 17 500 Franken pro Traktor die meisten Bauern ab.

Trotz finanzieller Anreize einzelner Kantone und Anbieter verfügen in der Schweiz erst einige hundert Traktoren über einen wirksamen Russfilter, der den Anforderungen der BAFU-Filterliste entspricht. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Neufahrzeuge, die inzwischen auf Wunsch des Käufers von namhaften Herstellern mit einem wirksamen Partikelfiltersystem ausgeliefert werden. Bestellungen für saubere Traktoren gehen vor allem von Bauern ein, die damit Arbeiten im Auftrag der öffentlichen Hand ausführen. Darunter fallen Gemeindeaufgaben wie zum Beispiel Kompostabfuhr, Feldrandkompostierung oder Schneeräumung, deren Vergabe die kommunalen Behörden zumindest teilweise vom Einsatz abgasarmer Dieselfahrzeuge abhängig machen.

Beschränkung auf die Abgasnormen der EU

Die Schweizer Regierung und das Parlament haben entschieden, sich bei den Abgasnormen für Traktoren auf die Übernahme der EU-Regelungen zu beschränken und vorderhand keine strengeren Vorschriften zu erlassen. Der Bundesrat begründete diese umweltpolitische Zurückhaltung mit der angespannten wirtschaftlichen Lage der schweizerischen Landwirtschaft und hielt fest, der Zeitplan für emissionsreduzierende Massnahmen solle sich insbesondere nach dem Kriterium der wirtschaftlichen Tragbarkeit richten.

Weniger zurückhaltend sind diesbezüglich Pionierfirmen wie der Schweizer Fahrzeughersteller Schiltrac, der bereits seit 2005 geschlossene Partikelfiltersysteme für berg-

gängige Arbeitsmaschinen anbietet. Gemäss Messungen der Forschungsanstalt Agroscope eliminiert das entsprechende Abgasreinigungssystem bei normaler Betriebstemperatur bis zu 99,98 Prozent der feinsten Russpartikel.



Der amerikanische Traktorenhersteller John Deere erreicht den gegenüber früheren Abgasvorschriften wesentlich strengeren Partikelgrenzwert der EURO-Abgasnorm III B für neue Motorentypen durch den standardmässigen Einbau eines geschlossenen Partikelfilters.

Foto: John Deere

Abgasreinigung bei Maschinen und Geräten

> Einheitliche Vorschriften für alle Dieselmotoren

Zum Schutz der öffentlichen Gesundheit wollen die Schweizer Umweltbehörden die für Dieselmotoren auf Baustellen rechtskräftigen Abgasvorschriften ausweiten. Künftig sollen diese auch für neue Maschinen ausserhalb von Baustellen gelten.

Im Gegensatz zu den Dieselmotoren im Strassenverkehr stehen dieselbetriebene Maschinen und Geräte oft über längere Zeit am gleichen Ort im Einsatz. Dies gilt nicht nur für Baustellen, sondern auch für weitere Anlagen wie etwa Kiesgruben, Deponien, Industrieareale und Gewerbebetriebe. Häufig findet hier nur ein beschränkter Luftaustausch statt, sodass der emittierte Dieselmotorruss unzureichend verdünnt wird. Im Bereich solcher Anlagen können deshalb relativ hohe Russkonzentrationen auftreten, welche die Gesundheit der Beschäftigten, Anwohner und Passanten gefährden. Wenn Dieselmotoren ohne Partikelfilter in gedeckten Arealen oder sogar in Innenräumen eingesetzt werden, tragen die Arbeitenden ein besonders hohes Risiko.

In ihrem Umweltprüfbericht hat die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

der Schweiz bereits 2007 empfohlen, zur Reduktion des Feinstaubausstosses zusätzliche Massnahmen einzuführen. Als taugliche Mittel empfahlen die Umweltfachleute unter anderem die Verschärfung von Emissionsgrenzwerten und den vermehrten Einsatz von Partikelfiltern für Dieselmotoren.

Überproportional hohe Russemissionen

Ein beträchtlicher Nachholbedarf besteht insbesondere im Bereich der Maschinen und Geräte mit einer Leistung ab 18 Kilowatt. Im Frühjahr 2010 hat die Konferenz der kantonalen Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren (BPUK) den Bund denn auch aufgefordert, alle dieselbetriebenen Maschinen unabhängig von ihrem Einsatzort gleich zu behandeln. Entsprechend verlangt sie eine Ergänzung der Luftreinhalteverordnung (LRV), die auch Dieselmotoren auf baustellen-



Anders als auf Baustellen ist die Abgasreinigung der in Kiesgruben eingesetzten Dieselmotoren in den meisten Kantonen heute noch nicht zwingend.

ähnlichen Anlagen sowie in Industrie- und Gewerbebetrieben erfasst. Dazu gehören Bagger, Dumper, Kipper, Brecher, Fräsen, Bohrmaschinen, Raupenlader, Krane, Kompressoren, Pumpen, Vibratoren, Rammen, Gabelstapler, Hubarbeitsbühnen, Industrietraktoren und Stromgeneratoren. Gemessen am Strassenverkehr sind die Schadstoffemissionen dieses Non-Road-Sektors überproportional hoch.

Effiziente Partikelfiltersysteme nach dem neusten Stand der Technik erreichen auch in diesen Anwendungsbereichen einen Russabscheidegrad von bis zu 99,9 Prozent, der nach 2000 Betriebsstunden immer noch bei über 97 Prozent liegt. Im Rahmen der lufthygienischen Massnahmenpläne verlangt inzwischen eine Mehrheit der Kantone die Abgasreinigung solcher Maschinen und Geräte auch ausserhalb von Baustellen. Die Behörden stützen sich dabei unter anderem auf das allgemeine Minimierungsgebot für krebserzeugende Stoffe in der LRV ab.

Ziel ist ein harmonisierter Vollzug

Bedingt durch das Fehlen von landesweit einheitlichen Abgasgrenzwerten ist der bisherige Vollzug auf kantonaler Ebene jedoch oft kompliziert und uneinheitlich. Deshalb prüft das BAFU national geltende Massnahmen zur Verbesserung der Situation. Auch die betroffenen Wirtschaftsbranchen sind interessiert an schweizweit gleichen und einheitlich durchgesetzten Vorschriften, weil sie sich ansonsten einer Vielzahl von unterschiedlichen kantonalen Regelungen anpassen müssen.

Auch innerhalb der Europäischen Union zeichnet sich bezüglich der Abgasreinigung von dieselbetriebenen Maschi-

nen und Geräten ein Umdenken ab. Beschränkte man sich bei deren Russmissionen bisher ausschliesslich auf eine Limitierung der Partikelmasse, so will das EU-Parlament nun weiter gehen. Im Oktober 2011 verlangte es von der Kommission die Einführung einer neuen Abgasstufe für Maschinen und Geräte, die sich an der EURO-VI-Norm für Nutzfahrzeuge orientieren soll. In diesem Zusammenhang fordert das EU-Parlament explizit auch einen Grenzwert für die Partikelanzahl entsprechender Motoren. Damit wäre in allen Einsatzgebieten des Non-Road-Sektors eine Harmonisierung gewährleistet. Allerdings dürfte die neue Abgasnorm kaum vor 2016 in Kraft treten.



Dieselbetriebene Arbeitsmaschinen wie dieses Flurförderfahrzeug, die in gedeckten Hallen oder geschlossenen Innenräumen zum Einsatz kommen, sollten zum Schutz der Beschäftigten über ein effizientes Partikelfiltersystem verfügen.

Foto: HJS



Robuste Abgasreinigungssysteme für Dieselmotoren – wie bei diesem Radlader des schwedischen Herstellers Volvo – sind auch extremen Belastungen mit stark variierenden Betriebszuständen gewachsen.

Foto: Volvo

> Literatur



Feinstaub in der Schweiz

Dieser 2008 veröffentlichte Statusbericht der Eid. Kommission für Lufthygiene (EKL) beleuchtet den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Erfahrungen zum Thema Feinstaub. Er informiert namentlich über neue Messverfahren, Messungen und Modellierungen. Dargestellt werden auch die Exposition der Bevölkerung sowie Auswirkungen auf die Gesundheit. Zudem enthält der Bericht Angaben zu den verschiedenen Verursachergruppen und listet mögliche Massnahmen zur Reduktion der übermässigen Belastungen auf.

Download: www.bafu.admin.ch/div-5013-d



NABEL – Luftbelastung 2010

Die 2011 erschienene Publikation dokumentiert anhand von Messresultaten des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) den Zustand der Luft in der Schweiz. Er zeigt die Entwicklung der Luftverschmutzung seit Beginn der 1980er-Jahre auf und präsentiert ausführlich die Messwerte des Jahres 2010. Wie die Auswertungen ergeben, werden die Grenzwerte für Stickstoffdioxid, den lungengängigen Feinstaub (PM10) und Ozon nach wie vor überschritten. Die Entwicklung der Luftbelastung in den letzten 20 Jahren zeigt allerdings eine deutliche Verbesserung.

Download: www.bafu.admin.ch/uz-1118-d



Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors

Der 2008 publizierte BAFU-Bericht beziffert die Luftschadstoffemissionen und den Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors in der Schweiz. Diese Quellengruppe umfasst alle mit einem Verbrennungsmotor ausgerüsteten mobilen Maschinen und Geräte, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind. Die Berechnungen sind für acht einzelne Maschinen- oder Gerätegattungen durchgeführt worden und decken den Zeitraum von 1980 bis 2020 ab.

Die Publikation gibt damit einen Überblick und kann zugleich als fachliche Grundlage für die Beurteilung von möglichen Massnahmen zur Verminderung der Luftverschmutzung durch den Offroad-Sektor dienen.

Download: www.bafu.admin.ch/uw-0828-d



Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035

Der 2010 veröffentlichte Bericht stellt eine Aktualisierung und Fortführung der bisher erschienen Unterlagen zu den Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz dar. Er deckt den Zeithorizont von 1990 bis 2035 ab. Aufgrund der international abgestimmten Emissionsuntersuchungen sind detaillierte Emissionsfaktoren für alle Strassenfahrzeuge sowie für diverse Luftschadstoffe und Klimagase ermittelt worden. Gestützt auf die in der Schweiz erhobenen Verkehrsdaten hat man anschliessend die Gesamtemissionen berechnet.

Neue Erkenntnisse ergeben sich vor allem bei den Partikel- und Stickoxidemissionen. Die Berücksichtigung der seit der letzten Berichterstattung beschlossenen Abgasvorschriften hat zur Folge, dass die neuen Prognosen von einer noch stärkeren Absenkung der Schadstoffemissionen ausgehen als bisher angenommen.

Download: www.bafu.admin.ch/uw-1021-d



Luftreinhaltung auf Baustellen

Bei dieser Vollzugshilfe des BAFU von 2009 handelt es sich um eine Aktualisierung der Baurichtlinie Luft über betriebliche und technische Massnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen. Sie konkretisiert die allgemein gehaltene Vorschrift in Ziffer 88 Anhang 2 der LRV. So wird unter anderem aufgezeigt, welche vorsorglichen Massnahmen im Rahmen der Bewilligungsverfahren für die wichtigsten Kategorien von Baustellen anzuordnen sind. Beschrieben werden dabei auch die lufthygienischen Anforderungen an Baumaschinen und deren Partikelfiltersysteme.

Download: www.bafu.admin.ch/uv-0901-d

Weiterführende Links

BAFU: Feinstaub-Belastung:

www.bafu.admin.ch > Themen > Luft > Themen > Feinstaub

BAFU: Partikelfilterliste:

www.bafu.admin.ch/partikelfilterliste

BAFU: Diesel-PW:

www.bafu.admin.ch > Themen > Luft > Themen > Diesel

BAFU: Partikelfilter für Nutzfahrzeuge:

www.bafu.admin.ch > Themen > Partikelfilter

Fachvereinigung Cercl' Air: Feinstaub macht krank:

www.cerclair.ch > Themen > Feinstaub

DieselNet: Informationsportal zu den Emissionen und zur Abgasreinigung von Dieselmotoren: www.dieselnet.com

Association for Emissions Control by Catalyst (AECC):

www.aecc.eu > de > Technologie > Partikelfilter

VERT Association: www.vert-dpf.eu