

Feinstaubproblem Baumaschine

Emissionen und Kosten einer
Partikelfilternachrüstung in Österreich

179



ÖSTERREICH

Wien, 2009
ISBN 978-3-7062-0108-7

Informationen zur Umweltpolitik
Nr 179

Feinstaubproblem Baumaschine

**Emissionen und Kosten einer Partikelfilternachrüstung
in Österreich**



AuftragnehmerIn: DI Günther Lichtblau (Projektleitung)
DI Barbara Schodl
Britta Plankensteiner
DI (FH) Ralf Winter
alle: Umweltbundesamt GmbH, Wien

Bearbeitung und
Layout: Christine Schwed (AK Wien)

Zu beziehen bei: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien
1040 Wien, Prinz-Eugen-Straße 20-22
Tel.: ++43 (0) 1 -501 65/ 2698
Fax: ++43 (0) 1 -501 65/ 2105
E-Mail: christine.schwed@akwien.at

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© 2009, by Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, 1041 Wien, Prinz-Eugen-Straße 20-22

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Medieninhaber, Herausgeber, Vervielfältiger: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Prinz-Eugen-Straße 20-22, 1041 Wien. Die in den "Informationen zur Umweltpolitik" veröffentlichten Artikel geben nicht notwendigerweise die Meinung der Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte wieder.

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie befasst sich mit den Partikelemissionen von Off – Road Maschinen in der Bauwirtschaft und der Anwendung von Partikelfiltersystemen in diesem Einsatzgebiet.

Feinstaubemissionen (PM10) führen es zu einer Belastung der menschlichen Gesundheit, in der vorliegenden Studie wird zu diesem Thema ein Literaturüberblick geliefert. Außerdem wird aufgezeigt, dass es in Österreich zu einer Verminderung der Lebenserwartung aufgrund der Exposition gegenüber Feinstaub kommt. Baustellen, vor allem Großbaustellen, stellen eine wesentliche Emissionsquelle für Feinstaubemissionen dar, speziell wenn sich die Baustellen im städtischen bzw. dicht besiedelten Gebiet befinden.

Der Off – Road Bereich verfügt neben dem Straßenverkehr über ein hohes Emissionsniveau hinsichtlich Partikelemissionen. Wurden im Jahr 2007 im gesamten österreichischen Straßenverkehr etwa 6.400 Tonnen Partikel (davon 2.900 reine Verbrennungsemissionen) emittiert, sind es im Off – Road Bereich etwa 1.900 Tonnen (direkte Verbrennungsemissionen). Der Anteil der Bauwirtschaft an den Emissionen aus mobilen Geräten und Maschinen im Off Road Bereich liegt bei etwa 24%, im Jahr 2007 wurden aus mobilen Maschinen und Geräten in diesem Sektor knapp 452 Tonnen Feinstaub emittiert.

Seit Ende der 90er Jahre unterliegen Baumaschinen in Europa Regelungen, welche die Partikelemissionen von Baumaschinen begrenzen. Technischen Systeme zur Behandlung der Partikelemissionen (v.a. Partikelfilter) kommen jedoch noch kaum zur Anwendung, da die Grenzwerte einen entsprechenden Einsatz im Normalfall nicht erforderlich machen. In einigen Bundesländern (mit Ausnahme von Oberösterreich und Salzburg) existieren jedoch bereits entsprechende Pläne und Programme bzw. auch Verordnungen, welche einen verstärkten Einsatz von derartigen Abgasnachbehandlungssystemen vorsehen. Zusätzlich zu diesen Regelungen werden im Rahmen des Umweltförderungsgesetzes zur rascheren Ausrüstung mit Filtersystemen Investitionen zur Vermeidung und Verringerung der Luftbelastungen durch Staubemissionen in Baumaschinen und Baustellengeräte gefördert. Zukünftig ist somit von einem verstärkten Einsatz von Filtersystemen in Österreich zu rechnen.

Aufgrund der langen Einsatzdauer von Maschinen und Geräten in der Bauwirtschaft (die Flottenerneuerung ist in diesem Sektor weit geringer als etwa im Straßenverkehr) ist neben der Ausrüstung von Neufahrzeugen und –geräten speziell die Nachrüstung mit Partikelfiltersystemen anzustreben. Eine Nachrüstung ist für alle Größenklassen technisch möglich und auch deshalb anzustreben, weil aufgrund der noch hohen Emissionsgrenzwerte – im Gegensatz zum Straßenverkehr - keine serienmäßig verbauten Partikelfiltersysteme angeboten werden.

In der Studie werden neben der Verfügbarkeit auch die Kosten für Anschaffung und Betrieb der Filtersysteme ermittelt, um die Kosteneffizienz der Nachrüstung zu bestimmen. Die Kosten werden für eine Tonne Partikelvermeidung bei Baumaschinen den Kosten bei schweren Nutzfahrzeugen bzw. Personenkraftwagen gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass speziell die Ausrüstung der Geräteklassen mit höherer Leistung ($>35\text{kW}$) über eine höhere Kosteneffizienz verfügt als eine Nachrüstung bei PKW bzw. LKW im Straßenverkehr. Zusätzlich ist eine Nachrüstung in diesem Segment auch deshalb zu bevorzugen, da neue PKW und Lastkraftwagen großteils bereits serienmäßig mit Partikelnachbehandlungssystemen ausgestattet werden, wodurch in diesem Segment automatisch eine Durchsetzung mit Nachbehandlungssystemen erfolgt.

Werden in Plänen und Programmen bzw. Regelungen zur Verringerung der Partikelbelastung in Österreich Maßnahmen hinsichtlich der Nachrüstung von Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmotoren in Erwägung gezogen, sollten diese somit mobile Maschinen und Geräte in der Bauwirtschaft bevorzugt berücksichtigen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Auswirkungen von Partikelemissionen auf die Gesundheit	3
2.1 Wissensstand zu Partikelbelastungen und deren gesundheitlichen Auswirkungen	3
2.1.1 Untersuchungsmethoden.....	4
2.2 Gesundheitliche Folgen	6
3. Baumaschinen - Gesetzliche Rahmenbedingungen	9
3.1 Abgasemissionsrichtlinien	9
3.2 Gesetzeslage National.....	12
3.2.1 Verordnungen und Maßnahmen in Österreich	13
4. Emissionssituation	17
4.1 Baumaschinen in der österreichischen Luftschadstoffinventur	17
4.2 Emissionsberechnung – Off-Road Maschinen.....	17
4.2.1 Erhebungsmethode.....	17
4.2.2 Berechnungsmethode.....	19
4.3 Emissionstrends	22
4.3.1 Partikelemissionen Verkehr Gesamt – Off-Road	22
4.3.2 Darstellung PM Emissionen Off-Road Sektor	25
5. Partikelnachbehandlungssysteme im Off-Road Bereich.....	29
5.1 Vergleich „Offene“ und „Geschlossene“ Partikelfiltersysteme.....	29
5.2 Serienmäßige Partikelfiltersysteme	30
5.3 Nachrüstsysteme im Off-Road Bereich.....	32
5.3.1 Eignungstest und Bewertungskriterien für Partikelfiltersysteme nach BAFU.....	33
5.3.2 VERT – Pflichtenheft.....	34
Exkurs: Einfluss von Partikelfiltersystemen auf NO ₂ Emissionen	34
5.3.3 Ablauf des Eignungstestes und Partikelfilterliste	36
5.4 Nachrüstsysteme im Off-Road Bereich im internationalen Vergleich.....	36
5.4.1 Allgemeines	36
6. Kosten-Nutzen Analyse von Partikelfiltersystemen.....	43
6.1 Flottenstruktur.....	43
6.2 Filterkosten	45
6.2.1 Überblick Filterkosten	47
6.2.2 Nachrüstungsszenarien	48
6.2.3 Kosteneffizienz.....	54

7. Anhang	63
7.1 Pflichtenheft VERT	63
7.1.1 Verminderung der Partikelemission.....	63
7.1.2 Gesetzlich limitierte Schadstoffe	63
7.1.3 Sekundäremissionen.....	63
7.1.4 Emissionskontrolle im Feld.....	64
7.1.5 Druckverlust	64
7.1.6 Additiv-Dosierung	64
7.1.7 Funktionsüberwachung (Minimalforderungen)	64
7.1.8 Geräuschkämpfung.....	64
7.1.9 Lebensdauer, Wartung und Gewährleistung	65
7.1.10 Kennzeichnung.....	65
7.1.11 Durchströmungsrichtung	65
7.1.12 Sicherheit	65
7.1.13 Diagnosezugriff	65
7.1.14 Reinigung und Entsorgung	66
7.1.15 Verwendung von Schalldämpfermodulen anstelle von Filterelementen.....	66
7.1.16 Technische Abnahme einer Nachrüstung.....	66
7.2 Ablauf des Eignungstests für Partikelfiltersysteme.....	67
7.2.1 Partikelfiltersystem als Nachrüstung	67
7.2.2 Partikelfiltersystem als Erstausrüstung.....	68
7.2.3 Nachprüfungen bei technischen Änderungen.....	68
7.2.4 Verantwortung des Filterherstellers und Übertragbarkeit des Eignungszertifikats	69
7.3 Liste der Partikelfiltersysteme (PFS) mit erfolgreich abgeschlossenem Eignungstest.....	69
7.3.1 Partikelsysteme für den Dauereinsatz:	70
7.3.2 Partikelfiltersysteme für den Kurzeinsatz.....	76
7.4 Kosten im Detail	76
Literaturverzeichnis	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Stufe I/II Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren.....	9
Tabelle 3-2	Stufe III A Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren	10
Tabelle 3-3	Stufe III B Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren	10
Tabelle 3-4	Stufe IV Emissions-Standards für Off-Road Motoren	11
Tabelle 3-6	Länderüberblick - Verordnungen/Maßnahmen von Partikelfilternachrüstungen (Landesregierungen 2008)	14
Tabelle 3-7	TRK-Werte für Dieselmotoremissionen	16
Tabelle 4-1	Maschinenkategorien Bauwirtschaft (lt. Baustatistik 1995).....	19
Tabelle 4-2	Verwendete Emissionsfaktoren für Dieselmotoren	22
Tabelle 4-3	Partikelemissionen Verkehr vs. Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen].....	23
Tabelle 4-4	Partikelemissionen PKW vs. Off-Road, Fahrleistung PKW 1990 - 2007	25
Tabelle 4-5	Partikelemissionen Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen]	26
Tabelle 4-6	Partikelemissionen Off-Road Maschinen 2007 [Tonnen].....	27
Tabelle 6-1	Flottendaten.....	43
Tabelle 6-2	Bestand und Partikelemissionen nach Größenklassen 2007.....	44
Tabelle 6-3	Datenanfragebogen an die Hersteller	45
Tabelle 6-4	Liste Herstelleranfragen	46
Tabelle 6-5	Jährliche Kosten für Umrüstung und Betrieb (Fix- und variable Kosten), günstigster Anbieter.....	48
Tabelle 6-6	Jährliche Kosten für Umrüstung und Betrieb (Fix- und variable Kosten), teuerster Anbieter	48
Tabelle 6-7	Nachrüstungsszenarien.....	49
Tabelle 6-8	Restemissionsmengen gemäß Nachrüstungsszenarien.....	51
Tabelle 6-9	Umrüstungskosten nach Szenarien in Mio. €.....	52
Tabelle 6-10	Kosten der Szenarien in Beziehung zum Produktionswert der Bauwirtschaft im Jahr 2007	53
Tabelle 6-11	Kosten der Szenarien in Beziehung zur Bruttowertschöpfung der Bauwirtschaft im Jahr 2007	54
Tabelle 6-12	Kosteneffizienz nach Leistungsklassen (1000 € pro Tonne PM – Vermeidung).....	55
Tabelle 6-13	Kosteneffizienz nach Szenarien (1000 € pro Tonne PM – Vermeidung)	55
Tabelle 6-14	Kosteneffizienz PKW, Durchsetzungszeitraum 5 bzw. 10 Jahre	57
Tabelle 6-15	Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 5 Jahre [in 1000 €].....	58

Tabelle 6-16	Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 10 Jahre [in 1000 €].....	59
Tabelle 7-1	Kosten pro vermiedener Tonne Partikelemissionen nach Szenarien bzw. Größenklassen	77

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Verminderung der Lebenserwartung durch Schwebestaub in Österreich	7
Abb. 2-2	Geschätzte bereinigte Sterblichkeitsraten in Korrelation mit unterschiedlichen PM _{2,5} Niveaus pro Periode.....	8
Abb. 3-1	Abgasemissionsrichtlinien ab 01.01.2011 nach Ländern.....	11
Abb. 4-1	Partikelemissionen Verkehr vs. Off-Road 1990 – 2007 [1.000]	23
Abb. 4-2	Partikelemissionen PKW vs. Off-Road, Fahrleistung PKW 1990 - 2007	24
Abb. 4-3	Partikelemissionen Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen]	26
Abb. 4-4	Partikelemissionen Off-Road Maschinen 2007 [Tonnen].....	27
Abb. 5-1	Zeitliche Entwicklung der On- und Off-Road-Abgasgrenzwerte.....	31
Abb. 5-2	Direkte NO ₂ -Emissionen: Kenntnisstand und Konsequenzen	35
Abb. 6-1	Bestand und Partikelemissionen nach Größenklassen 2007.....	44
Abb. 6-2	Restemissionsmengen nach Nachrüstungsszenarien	51
Abb. 6-3	Emissionsreduktionspotenzial nach Szenarien	52
Abb. 6-4	Kosteneffizienz PKW, Durchsetzungszeitraum 5 bzw. 10 Jahre	56
Abb. 6-5	Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 5 Jahre [in 1000 €].....	58
Abb. 6-6	Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 10 Jahre [in 1000 €].....	59
Abb. 6-7	Belastete Gebiete für PM ₁₀ gemäß VO BGBl II 340/2006 bzw. VO BGBl II 262/2006 zum UVP-G 2000.....	61
Abb. 7-1	schematische Darstellung der Filterprüfung.....	67

1. Einleitung

Energieverbrauch und Emissionen werden für die meisten Sektoren (Straßenverkehr, Haushalte, Industrie etc.) seit langem erhoben und deren Beitrag zur Luftbelastung ermittelt. Der „Off - Road Sektor“, das sind mobile Geräte die nicht direkt dem Straßenverkehr zugeordnet sind, wurde dagegen in Österreich sowie im gesamteuropäischen Raum lange nicht oder nur sehr unvollständig erfasst.

Eine Ursache dafür ist sicher die schlechte Datenlage (Bestandstatistik, Einsatzdauer der Maschinen, spezifische Verbrauchsmengen, etc.) zu diesen Geräten. Während im Straßenverkehr alle KFZ statistisch über die Zulassung erfasst sind, ist im Off - Road Sektor nur ein Bruchteil des Bestandes zum Verkehr zugelassen und damit in Statistiken beschrieben. Ebenso gibt es nur wenige Daten zur Einsatzzeit der Geräte und wenige Messungen zu deren Emissionsverhalten.

Während z.B. für PKW und Nutzfahrzeuge seit langem Emissionsgrenzwerte bestehen, die zur Minderung der Luftbelastung beitragen, bestehen für den „Off - Road“ Bereich in der EU erst seit Ende der neunziger Jahre entsprechende Vorschriften. Zusätzlich existieren im Off - Road Bereich speziell für große Maschinen und Geräte sehr langsame Flottenerneuerungsraten – da, anders als im Straßenverkehr, keine finanziellen Anreize zur Flottenerneuerung existieren. Dadurch wird die Nachrüstung mit Abgasnachbehandlungssystemen in diesem Sektor an Relevanz gewinnen.

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut:

- In Kapitel 2 werden die Auswirkungen von Partikelemissionen auf die Gesundheit sowie ein Literaturüberblick über bestehende Studien gegeben.
- Kapitel 1 liefert eine Übersicht über existierende Richtlinien, nationale Gesetze und Maßnahmen in welchen Partikelfilternachschrüstsyste me umgesetzt sind. Hier findet sich auch ein Überblick über die zugrundeliegenden Maßnahmen nach Bundesländern.
- In Kapitel 4 wird die aktuelle Emissionssituation (aus dem Jahr 2007) des Off - Road Sektors in Österreich, basierend auf der Methodik einer Studie, welche im Jahr 2000 von der Umweltbundesamt GmbH beauftragt wurde, dargestellt.
- Kapitel 5 liefert eine ausführliche Darstellung von Partikelfilternachschrüstsyste men im Off - Road Bereich und unterstreicht, dass momentan keine Off - Road Maschinen am Markt existieren, welche mit Partikelfiltersystemen serienmäßig ausgestattet sind.

- In Kapitel 6 wird eine Kostenanalyse, gestützt auf die Partikelemissionen der Baumaschinen im Jahr 2007 ohne Nachrüstsystem – verglichen mit jenen mit Nachrüstung, in sieben verschiedenen Szenarien durchgeführt.
- Zum Schluss wird ein Exkurs zum Thema „Einfluss von Partikelfiltersystemen auf die NO₂ Emissionen“ thematisiert.

2. Auswirkungen von Partikelemissionen auf die Gesundheit

Baustellen, vor allem Großbaustellen, stellen eine wesentliche Emissionsquelle von Luftschadstoffen dar, konkret kann von einer speziellen Belastung durch Feinstaub (PM10) gesprochen werden. Da die Bautätigkeit oft in dicht besiedelten Wohngebieten abgewickelt wird, stellt der Schadstoffausstoß der dieselbetriebenen Baumaschinen ein beträchtliches Belastungspotential für die angrenzende Bevölkerung und für die Bauarbeiter dar. Im Gegensatz zum Straßenverkehr, wo es durch die hohe Fahrgeschwindigkeit zu einer Aufwirbelung und Verdünnung der Abgase kommt, arbeiten Baumaschinen meist stationär und so wird der Dieselruß-Ausstoß weniger verdünnt. Vor allem in der Umgebung von schlecht belüfteten Baugruben und auch bei windarmen Wetterlagen können sich auf diese Weise Schadstoffglocken bilden.

Definition Staub

Schwebestaub umfasst im Allgemeinen alle luftgetragenen Partikel, ein Gemisch aus festen und flüssigen Teilchen. Schwebestaub gelangt entweder direkt in die Luft (primäre Partikel) oder entsteht durch luftchemische Prozesse aus gasförmigen Vorläuferstoffen (sekundäre Partikel). Die Größen und chemische Zusammensetzung der Partikel variiert, folgende Charakterisierung wird getroffen:

TSP: Gesamtschwebestaub, dabei wird der Großteil der luftgetragenen Partikel erfasst

PM10: Particulate matter (Schwebestaub) < 10 µm. PM10 wird im deutschen Sprachgebrauch auch als Feinstaub bezeichnet.

PM2,5: Particulate matter < 2,5 µm

Dieselpartikel haben einen Rußkern mit einem mittleren Durchmesser von unter 100 nm und werden als krebserregend eingestuft.

2.1 Wissensstand zu Partikelbelastungen und deren gesundheitlichen Auswirkungen¹

Eine Vielzahl der untersuchten Studien beschäftigt sich allgemein mit Partikelemissionen in der Luft und deren Auswirkungen auf die Gesundheit. Explizite Studien zu Gesundheitsef-

¹ Es handelt sich hierbei um eine Selektion ausgewählter Studien und nicht um eine ausführliche Metastudie über den Themenbereich.

fekten durch Partikelemissionen von Baumaschinen², sind eher selten, als Verursacher der Emissionen werden aber naturgemäß u.a. Baumaschinen genannt.

Die gesundheitlichen Risiken die von Partikeln in der Luft ausgehen, wurden in den letzten Jahren gründlich untersucht. Wie unter Punkt 2.2 dieser Studie beschrieben, gelten insbesondere die Partikel in den Abgasen von Dieselmotoren als gesundheitsschädigend und kanzerogen. Die ersten Bestrebungen den Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und menschlichen Gesundheit zu verstehen und zu quantifizieren haben schon eine lange Historie (siehe dazu Brimblecombe 1987, Lipfert 1994, Davis 2002). In den 1970er und 1980er Jahren wurde der Zusammenhang zwischen kardiopulmonalen³ Erkrankungen und einer hohen Konzentration von Feinstaub in der Luft allgemein anerkannt (siehe dazu Bell et al. 2004).

Der internationale Wissensstand zu dieser Thematik wurde in mehreren Dokumentationen zusammengefasst (WHO 2000, US-EPA 2002). Eine Reihe von Arbeiten widmet sich speziell der Situation in Europa (WHO 2003, SRU 2002). Einschlägige Literatur zu dem Thema aus Deutschland stammt von Wichmann et al. 2000 und aus der Tschechischen Republik, von Bobak und Leon 1992. Für Studien betreffend Österreich sei an dieser Stelle auf Umweltbundesamt 2006 und Umweltbundesamt 2005 verwiesen. Eine ausführliche Metastudie und eine gute Einführung in die Thematik finden sich in Pope and Dockery 2006 und in WHO 2004. Weiterführende Literatur findet sich im Anhang.

2.1.1 Untersuchungsmethoden⁴

Die Bewertung der Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit stellt eine komplexe Herausforderung dar, da eine Unzahl von unterschiedlichen Studien aus verschiedenen Disziplinen berücksichtigt werden muss, einschließlich Studien zur persönlichen Exposition, epidemiologische Studien, toxikologische Studien inklusive Tierversuche, kontrollierte Expositionsexperimente und In-vitro-Studien. Jeder dieser Ansätze hat seine eigenen Stärken und Schwächen.

In **epidemiologischen Studien** wird die Korrelation verschiedener medizinischer Parameter, wie etwa die Häufung von Krankenhauseinweisungen oder Todesfällen mit Umgebungseinflussgrößen, wie etwa der Schadstoffexposition bzw. der Schadstoffkonzentration untersucht. Derartige Studien sind deshalb von hoher Aussagekraft, da

- die Exposition der Bevölkerung unter ‚realen‘ Bedingungen stattfindet;
- sehr große Kollektive erfasst werden können, inklusive jener Personen, die besonders empfindlich auf Luftschadstoffe reagieren. Hierzu zählen – abhängig

² Eine Studie die sich im Speziellen mit den gesundheitlichen Risiken durch Baumaschinen beschäftigt ist bspw. Anair 2006.

³ Herz und Lunge gleichzeitig betreffend.

⁴ Dieses Unterkapitel stützt sich im Wesentlichen auf Umweltbundesamt 2005a.

vom Luftschadstoff – Kinder, ältere Personen sowie durch existierende Krankheiten geschwächte Individuen;

- eine Extrapolation über Speziesgrenzen hinweg (d. h. etwa von Ratten auf Menschen) sowie zu niedrigeren Expositionskonzentrationen nicht notwendig ist.

Auch können die in epidemiologischen Untersuchungen gefundenen Zusammenhänge zwischen der Schadstoffbelastung und den Auswirkungen unter bestimmten Bedingungen zur Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen herangezogen werden (WHO 2001).

In den letzten Jahren sind die analytisch-statistischen Methoden zur Durchführung dieser Studien wesentlich verbessert worden und erlauben auch eine Detektion von kleinen Änderungen des Risikos von durch Luftschadstoffe verursachten Gesundheitsauswirkungen, etwa einer Zunahme der Mortalität. Allerdings ist die Exposition einzelner Individuen gegenüber der vermuteten Einflussgröße im Detail meist nicht bekannt, und zudem ist zu berücksichtigen, dass die Personen einer ganzen Reihe verschiedener Umwelteinflüsse ausgesetzt sind. Je nach Studiendesign sind diese Faktoren genau zu kontrollieren. Zudem können epidemiologische Studien statistische Zusammenhänge aufzeigen, sind aber für sich alleine genommen i. A. kein ausreichender Beleg für einen kausalen Zusammenhang der untersuchten Umwelteinflüsse und der beobachteten Gesundheitseffekte.

Epidemiologische Studien haben in den letzten Jahren deutliche Hinweise auf Effekte von Schwebestaub auf das Herz-Kreislauf-System ergeben. Dabei konnte der Zusammenhang zwischen einer Reihe von relevanten physiologischen Größen und der Schwebestaubbelastung gezeigt werden, wie z. B. eine verringerte Herzfrequenzvariabilität, Erhöhung der Plasmaviskosität, Erhöhung des Spiegels C-reaktiven Proteins, Dysfunktion des Endothels und der Auslösung von Herzinfarkten.

Im Gegensatz dazu dienen **toxikologische Untersuchungen** dazu, die biologische Plausibilität der Schadstoffauswirkungen (oft einzelner Komponenten) zu untermauern oder abzuschwächen. Daneben geben sie auch wertvolle Hinweise zur Identifikation der konkreten Wirkungspfade und Wirkungsmechanismen.

Kontrollierte Expositionsstudien gestatten eine genaue Überwachung der Exposition und der Auswirkungen. Allerdings sind die Studien dadurch limitiert, dass aus offensichtlichen Gründen nur milde, reversible Effekte verursacht werden, und dass meist gesunde oder nicht übermäßig kranke Personen herangezogen werden (und nicht jene, bei denen die schwersten Effekte zu erwarten sind). Relativ neu sind Studien mit konzentriertem Schwebestaub aus der Umgebungsluft (CAP – concentrated ambient particles).

Tierversuche haben den Vorteil, dass eine genaue Überwachung der Exposition möglich ist. Zudem können höhere Konzentrationen als bei kontrollierten Expositionsstudien angewandt werden. Problematisch hingegen ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen und die Extrapolation zu niedrigeren Konzentrationen (da die Studien aus

methodischen Gründen üblicherweise bei Konzentrationen durchgeführt werden, die weit über jenen liegen, die heutzutage in der Außenluft in Europa gemessen werden). Zudem spiegeln diese Versuche oft nicht die in einer Bevölkerung vorhandenen unterschiedlichen Empfindlichkeiten wider, da Versuchstiere oft genetisch ident sind, gleiche Ernährung haben und unter gleichartigen Bedingungen gehalten werden.

2.2 Gesundheitliche Folgen

Zu den staubförmigen, lungengängigen Feinpartikeln zählen die Dieselrußpartikel, die laut World Health Organization (WHO) u.a. auch krebserregend wirken. Diese feineren Partikel (PM₁₀ und PM_{2,5}) können bis tief in die Lunge und somit auch in die Blutbahnen gelangen und zu unterschiedlichen negativen gesundheitlichen Auswirkungen, wie z. B. Herz-Kreislauferkrankungen und chronischen Lungenkrankheiten führen.

Im groß angelegten Review der WHO über „Gesundheitsaspekte der Außenluftqualität in Europa“ von 2001 – 2003 wird von einem offenkundigen Zusammenhang der Exposition gegenüber Schwebestaub und z. T. schwerwiegenden Gesundheitsauswirkungen ausgegangen. Die wichtigsten Ergebnisse der Studie – in Kürze zusammengefasst – ergaben:

- Die Evidenz über einen Zusammenhang der Exposition gegenüber Schwebestaub mit z. T. schwerwiegenden Gesundheitsauswirkungen ist weit stärker als vor wenigen Jahren angenommen.
- PM_{2,5} ist ein geeigneter Indikator zur Beschreibung der durch die PM-Exposition verursachten Effekte, insbesondere in Bezug auf die Mortalität sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen.
- Obwohl Feinstaub (PM_{2,5}) einen stärkeren Zusammenhang mit einigen schweren Gesundheitsauswirkungen zeigt als die grobe Fraktion (PM₁₀ minus PM_{2,5}), gibt es Hinweise, dass auch diese in Beziehung mit bestimmten Gesundheitsauswirkungen steht.
- Bislang konnte keine Schwellenkonzentration abgeleitet werden, unter der keine Gefahr für die Gesundheit besteht.
- Bei den Auswirkungen auf die Mortalität handelt es sich nicht (nur) um vorgezogene Sterblichkeit („Harvesting“). Beim Harvesting wird durch einen Umwelteinfluss der Zeitpunkt des Todes lediglich um wenige Stunden oder Tage vorgezogen. Beim chronischen von Feinstaub Einfluss dass davon auszugehen ist, dass die Feinstaubexposition zu einer signifikanten Verkürzung der Lebenserwartung führt.
- Einige Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen einer Reduktion der PM Belastung und einer Abnahme von Gesundheitseffekten.

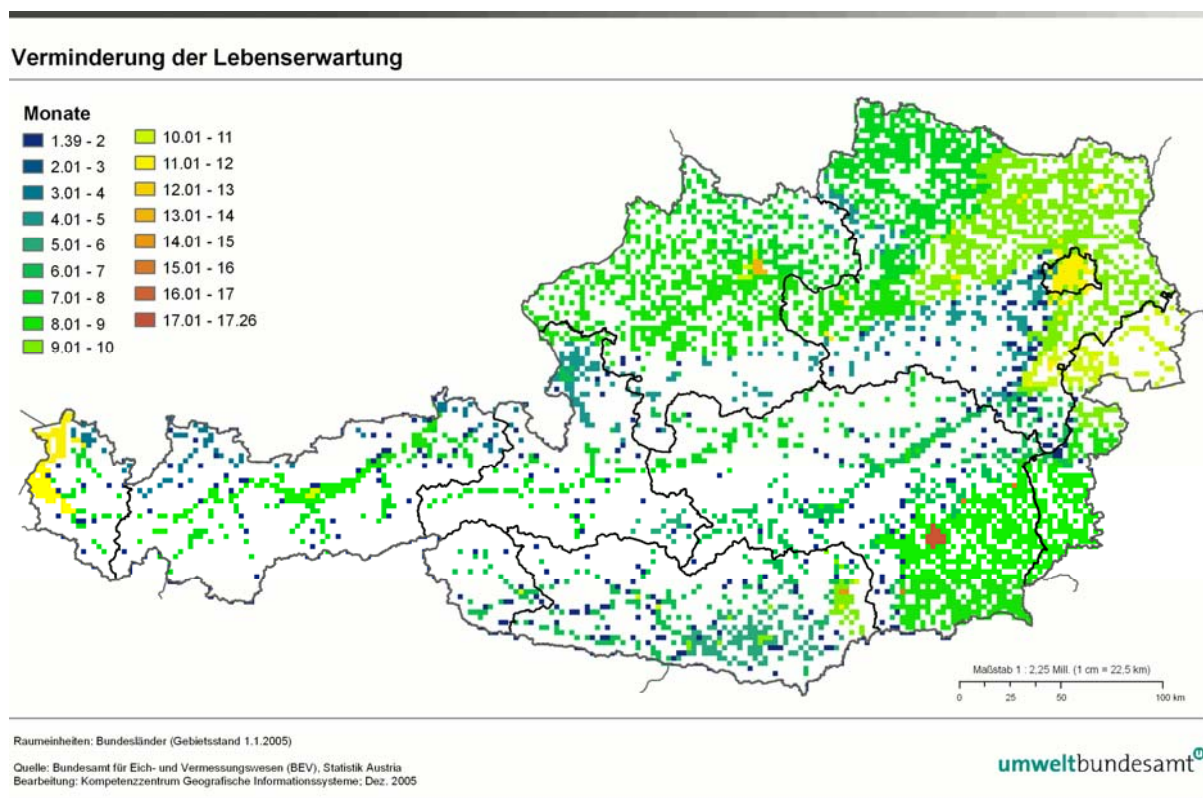
Nach Hagendorfer und Uhl in Umweltbundesamt 2007 sind bestimmte Metalle, organische Verbindungen (wie etwa Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe PAK), ultrafeine Partikel (< 100 nm) und Endotoxine im Feinstaub toxisch wirksam.

Laut einer Studie der WHO aus dem Jahr 2004 verkürzt sich in Europa durch die Feinstaubbelastung die Lebenserwartung wogegen sich die Sterblichkeitsrate erhöht. Bei den Auswirkungen auf die Mortalität handelt es sich nicht nur um vorgezogene Sterblichkeit, vielmehr ist davon auszugehen, dass die Feinstaubexposition zu einer signifikanten Verkürzung der Lebenserwartung führt. Besonders betroffen ist die Bevölkerung in städtischen Ballungsräumen, wo es um eine Verringerung der Lebenserwartung von über einem Jahr kommen kann.

Gesundheitliche Folgen in Österreich

In einer Studie des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2005 wurde die Auswirkung der Feinstaubbelastung auf die Sterblichkeit in verschiedenen Städten und Regionen in Österreich ermittelt. Dabei wurde nach einer von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Methodik vorgegangen.

Abb. 2-1 Verminderung der Lebenserwartung durch Schwebstaub in Österreich



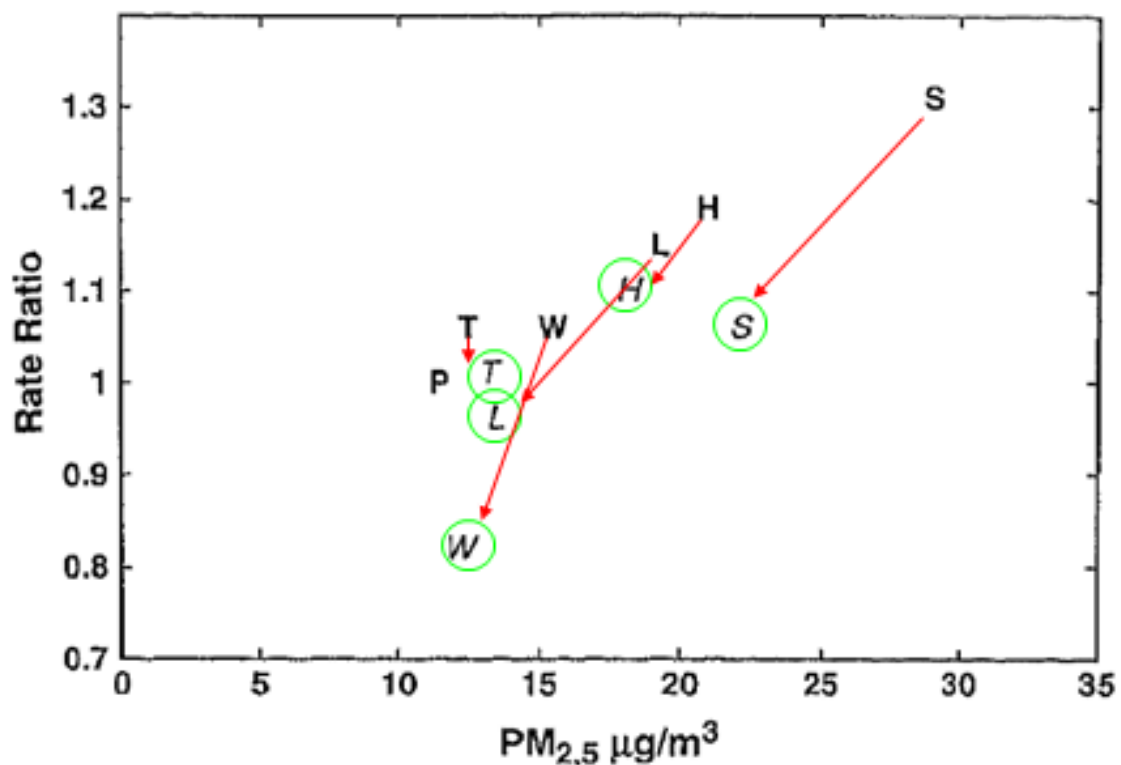
Quelle: Umweltbundesamt 2005a

Durch die Festlegung eines Referenzniveaus liegt die Verminderung der Lebenserwartung zwischen null Monaten (in Gebieten, in denen die Belastung nicht über dem Referenzniveau liegt) und 17 Monaten (in der steirischen Landeshauptstadt Graz). Ohne die Annahme eines Referenzniveaus wäre die Verminderung generell um mehr als fünf Monate höher.

Gesundheitliche Folgen International

In der erweiterten Nachuntersuchung der renommierten Harvard Studie über sechs Städte, welche im Jahr 2006 publiziert wurde, konnte nachgewiesen werden, dass eine Reduktion der Belastung, in den untersuchten Städten, zu einer Abnahme der Sterblichkeitsrate führt. Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abb. 2-2 Geschätzte bereinigte Sterblichkeitsraten in Korrelation mit unterschiedlichen PM_{2,5} Niveaus pro Periode



Quelle: Laden et al. 2006, S. 670

In der Abbildung repräsentieren die Buchstaben die untersuchten Städte (P bezeichnet Portage, T = Topeka, W = Watertown, L = St. Louis, H = Harriman, S = Steubenville) – wobei die Fett geschriebenen Buchstaben Periode 1 (1974-1989) und die kursiv (in Ringen) geschriebenen Periode 2 (1990-1998) darstellen. Durch die Abbildung der zwei Perioden in einer Grafik kann die Reduktion der Sterblichkeitsrate durch niedrigere PM_{2,5} Konzentration klar abgelesen werden.

3. Baumaschinen - Gesetzliche Rahmenbedingungen

3.1 Abgasemissionsrichtlinien

Erstmalig wurden in der Richtlinie 97/68/EG vom 16. Dezember 1997 (letzte Änderung im Jahr 2006) die Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Emissionsnormen und Typgenehmigungsverfahren für Motoren zum Einbau in mobile Maschinen und Geräte festgelegt. Die Richtlinien wurden zweistufig eingeführt, Stufe I ab 1999 und Stufe II von 2001 bis 2004 je nach Motorleistung. Die Termine beziehen sich jeweils auf das Inverkehrbringen der mobilen Maschinen und Geräte, für die Typprüfung gelten die Grenzwerte in der Regel ein Jahr früher. Eine Übersicht der Einführungszeiträume und der zugehörigen Grenzwerte findet sich in nachfolgender Tabelle. Dem Wunsch der Hersteller nach einer globalen Harmonisierung der Abgasnormen wird in Stufe I und II teilweise nachgekommen, indem diese an die US Tier Standards angenähert sind. Stufen III und IV sind vollständig mit Tier III beziehungsweise Tier IV harmonisiert, die Zeitpunkte des jeweiligen Inkrafttretens unterscheiden sich allerdings.

Tabelle 3-1 Stufe I/II Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung	Datum*	CO	HC	NOx	PM
	kW		g/kWh			
Stufe I						
A	$130 \leq P \leq 560$	01 1999	5.0	1.3	9.2	0.54
B	$75 \leq P < 130$	01 1999	5.0	1.3	9.2	0.70
C	$37 \leq P < 75$	04 1999	6.5	1.3	9.2	0.85
Stufe II						
E	$130 \leq P \leq 560$	01 2002	3.5	1.0	6.0	0.2
F	$75 \leq P < 130$	01 2003	5.0	1.0	6.0	0.3
G	$37 \leq P < 75$	01 2004	5.0	1.3	7.0	0.4
D	$18 \leq P < 37$	01 2001	5.5	1.5	8.0	0.8
* Stufe II gilt auch für Stationärmotoren beginnend mit 01 2007						

In folgender Tabelle sind die derzeit gültigen Standards der Stufe III A dargestellt, welche mit der Richtlinie 2004/26/EG am 21. April 2004 eingeführt wurden. Die Grenzwerte für Partikel sind hierbei so hoch, dass derzeit ein Einsatz von Partikelfiltern auch in Hinblick auf die aktuelle Motorentechnologie nicht notwendig ist beziehungsweise nicht forciert wird.

Tabelle 3-2 Stufe III A Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung	Datum*	CO	NO _x +HC	PM
	kW			g/kWh	
H	$130 \leq P \leq 560$	01 2006	3.5	4.0	0.2
I	$75 \leq P < 130$	01 2007	5.0	4.0	0.3
J	$37 \leq P < 75$	01 2008	5.0	4.7	0.4
K	$19 \leq P < 37$	01 2007	5.5	7.5	0.6

* Datum für Stationärmotoren: 01 2011 die Kategorien H, I and K; 01 2012 für Kategorie J.

Mit Stufe III B, welche in Tabelle 3-3 dargestellt ist, wird es erstmalig eine scharfe Reduktion des Emissionsgrenzwertes für Partikel geben. Ziel ist, Hersteller zum Einsatz von Partikelfiltern zu bewegen.

Tabelle 3-3 Stufe III B Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung	Datum	CO	HC	NO _x	PM
	kW				g/kWh	
L	$130 \leq P \leq 560$	01 2011	3.5	0.19	2.0	0.025
M	$75 \leq P < 130$	01 2012	5.0	0.19	3.3	0.025
N	$56 \leq P < 75$	01 2012	5.0	0.19	3.3	0.025
P	$37 \leq P < 56$	01 2013	5.0		4.7*	0.025

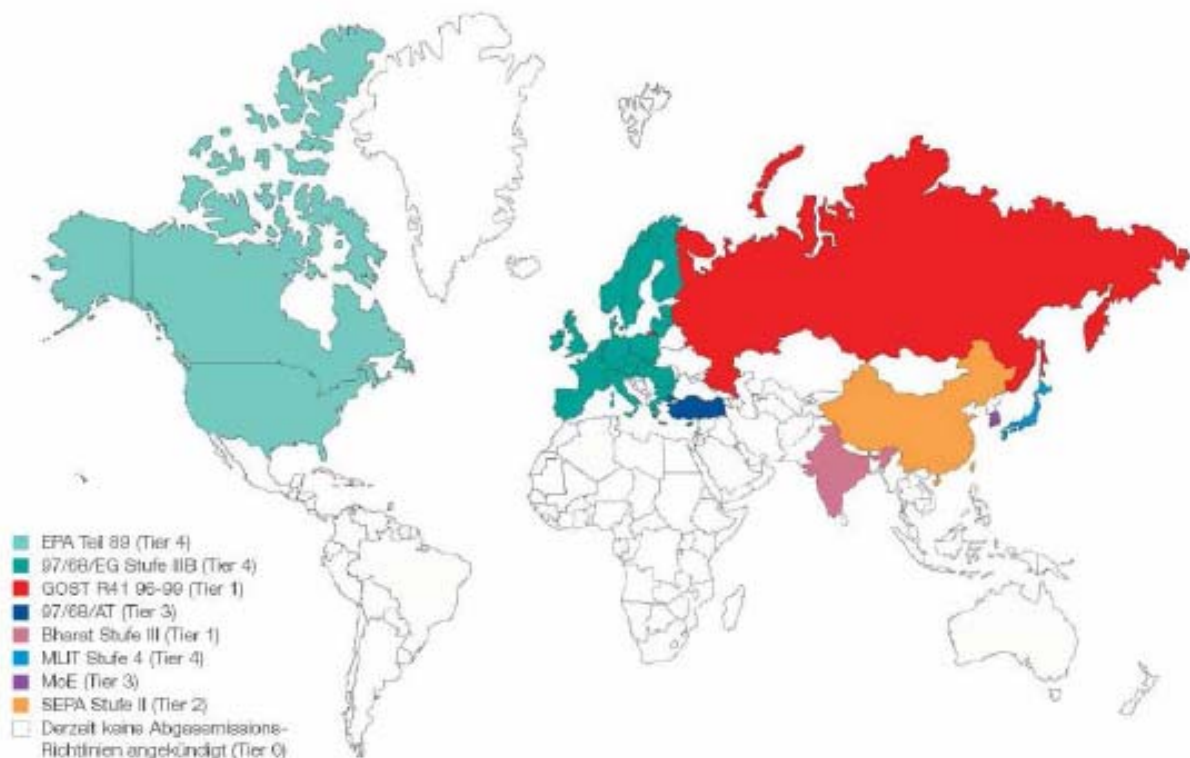
* NO_x+HC

Tabelle 3-4 zeigt die Emissionsgrenzwerte der Stufe IV. Ersichtlich ist, dass die Partikelgrenzwerte auf demselben Niveau wie bei Stufe III B verbleiben, die Grenzwerte für NO_x für sind jedoch fast um eine Zehnerpotenz geringer als in Stufe III B. Damit wird antizipiert, dass Hersteller Nachbehandlungsmethoden für NO_x zum Unterschreiten der Grenzwerte einsetzen werden müssen.

Tabelle 3-4 Stufe IV Emissions-Standards für Off-Road Motoren

Kategorie	Leistung	Datum	CO	HC	NOx	PM
	kW		g/kWh			
Q	$130 \leq P \leq 560$	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	$56 \leq P < 130$	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

Abb. 3-1 zeigt die unterschiedlichen Abgasemissionsrichtlinien in unterschiedlichen Ländern. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die schärfsten Richtlinien in den USA, Kanada, der EU sowie in Japan Anwendung finden. Der Rest der Welt hat, betrachtet man vor allem die Grenzwerte für Partikel, gar keine Richtlinien bzw. sehr hohe Grenzwerte im Vergleich zu den vorher erwähnten Regionen. Ein weltweiter Einsatz von Partikelfiltern im Off-Road Bereich scheint unter Berücksichtigung der aktuell und zukünftig zur Anwendung kommenden Richtlinien noch in weiter Ferne zu liegen.

Abb. 3-1 Abgasemissionsrichtlinien ab 01.01.2011 nach Ländern

3.2 Gesetzeslage National

Die Richtlinie 97/68/EG ist in Österreich mit der Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (MOT-V) zur Gewerbeordnung 1994 umgesetzt. Lastkraftwagen – welche ebenfalls in der Bauwirtschaft zum Einsatz kommen – sind als straßengebundene Fahrzeuge in der Richtlinie 88/77/EG erfasst und unterliegen daher einem anderen Grenzwertregime als mobile Maschinen und Geräte.

Die Emissionen von mobilen Maschinen und Geräten sind in vielen Bundesländern auch Gegenstand von nach dem Immissionsschutzgesetz Luft verordneten Maßnahmen. Die Regelungen unterscheiden sich je nach Bundesland und sind in Tabelle 3-5 zusammengefasst dargestellt.

In den meisten Verordnungen wird auch eine Partikelfilterpflicht für Baumaschinen vorgesehen, jedoch sind meist die Maschinen und Geräte, welche der MOT-V genügen, von dieser Partikelfilterpflicht ausgenommen.

Vorbild Schweiz

Die seit September 2002 geltende Richtlinie „Luftreinhaltung auf Baustellen“ des Bundesamts für Umwelt konkretisiert den Vollzug der Schweizer Luftreinhalte-Verordnung in Bezug auf die Emissionen von Baustellen. Die in der Richtlinie angeführten Maßnahmen richten sich unter anderem nach der Dauer und der Größe von Baustellen. Die Partikelfilterpflicht für Baumaschinen wird für die sogenannten Baustellen der Maßnahmenstufe B vorgesehen (Maßnahme „G8“). Als Übergangsfrist wurden für Maschinen und Geräte mit einer Leistung von <37 kW ein Jahr und für Maschinen und Geräte mit einer Leistung von 18-<37 kW drei Jahre nach Inkraftsetzung der Richtlinie festgelegt. Für kurze Einsatzzeiten bis maximal ein Arbeitstag pro Baustelle und Jahr können in Ausnahmefällen Maschinen und Geräte ohne Partikelfiltersystem eingesetzt werden.

Tabelle 3-5 Definition von B-Baustellen

Definition von B-Baustellen		Dauer der Baustelle	Art und Grösse der Baustelle	
			Fläche	Kubaturen
Lage der Baustelle	Ländlich	>1,5 Jahre	>10'000 m ²	>20'000 m ³
	Agglomeration/Innerstädtisch	>1 Jahr	>4'000 m ²	>10'000 m ³

3.2.1 Verordnungen und Maßnahmen in Österreich

Aufgrund der derzeitigen gesetzlichen Abgasvorschriften werden weder schwere Nutzfahrzeuge noch Baumaschinen oder andere Off - Road Geräte serienmäßig zwingend mit Partikelfiltern ausgestattet.

Die Umsetzung der österreichischen Grenzwertverordnung (GKV 2006) hat jedoch im Untertagebau zur obligatorischen Ausrüstung von dieselmotorisch angetriebenen Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltern geführt, wodurch sich die Luftqualität und damit die Exposition der ArbeitnehmerInnen deutlich verbessert haben. Der Einsatz von Dieselpartikelfiltern in Fahrzeugen oder Flurförderzeugen, die in Räumen wie Ladehallen oder Baustellen im Tunnel eingesetzt werden, ist durch die technischen Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS 554) vorgeschrieben.

In einigen Bundesländern wurden Maßnahmen verordnet, die Auswirkungen auf die in der Baubranche eingesetzten Geräte und Maschinen haben. Nachstehende Tabelle gibt Auskunft über rechtliche und praktische Grundlagen für die Umsetzung von Partikelfilternachschrüstungen in den einzelnen Bundesländern (Landesregierungen 2008).

In den Bundesländern Oberösterreich, Salzburg, Steiermark und Vorarlberg wurden keine Verordnungen bezüglich Partikelfilternachschrüstungen bei Baumaschinen erlassen⁵.

Die in der nachstehenden Abbildung angeführten Verordnungen/Maßnahmen sind den jeweiligen Landesgesetzblättern zu entnehmen:

⁵ In der Steiermark wurde zwar im LGBL 131/2006 unter Abschnitt 2, §4 eine Maßnahme für Partikelfiltersysteme für Dieselmotoren >18 kW verordnet, allerdings wurde diese in der Verordnung vom 19. November 2007 in Abschnitt 3, §7 außer Kraft gesetzt. In Vorarlberg wurde am 10. Mai 2005 das sogenannte „30+1 Punkte Maßnahmenprogramm“ von der Landesregierung beschlossen. In diesem Programm wird bezüglich Baumaschinen mit DPF ein Bonus-System bei Ausschreibungen angestrebt (Pressekonferenz Mai 2007).

Tabelle 3-5 Länderüberblick - Verordnungen/Maßnahmen von Partikelfilternachschrüstungen (Landesregierungen 2008)

Bundesländer	Rechtliche Grundlage	Zeitraumen Partikelfilterpflicht	Sanierungsgebiet	Ausnahmen bei Baumaschinen
Burgenland	LGBL Nr. 31/2006 IDF LGBL Nr. 38/2007	Partikelfilterpflicht ab 1. Jänner 2010, im Sanierungsgebiet jeweils von 1. November bis 31. März eines Jahres	gesamtes Burgenland	Ausgenommen sind dabei (gilt für alle Bundesländer): Kraftfahrzeuge deren Luftschadstoffemissionen ausschließlich aus einem der Fortbewegung dienenden Verbrennungsmotor stammen, Eisenbahnen, Luftfahrzeuge; Anlagen, die für den Betrieb der dem öffentlichen Verkehr dienenden Luftfahrzeuge unmittelbar erforderlich sind, Fahrzeuge im Sinn des Schiffsahrtsgesetzes; Anlagen, für die der Stand der Luftreinhaltung in einem Gesetz oder einer Verordnung festgelegt ist.
Kärnten	LGBL Nr. 4/2006	für Geräte und Motoren > 37 kW bis 1. Februar 2009 Baumaschinen > 37 kW bis 1. Februar 2007	Nach PM ₁₀ Maßnahmenkatalog, gilt für Klagenfurt das gesamte Stadtgebiet als Sanierungsgebiet	
Niederösterreich	LGBL Nr. 8103/1-0	mit 1. Jänner 2011	ausgewählte Bezirke, Länder und Gemeinden	
Oberösterreich	keine Maßnahmen betreffend Partikelfilter für Baumaschinen			
Salzburg	keine Maßnahmen betreffend Partikelfilter für Baumaschinen			
Steiermark	Beachte Fußnote 5.			
Tirol	LBGL. Nr. 82/2004, LGBL. Nr. 20/2005, LGBL. Nr. 73/2005, LGBL. Nr. 86/2006, LGBL. Nr. 90/2006, LGBL. Nr. 91/2006, LGBL. Nr.92/2007	Für Gemeinden Roppen bis Landeck, für Maschinen und Geräte > 37kW: 31. Dez. 2006, für Maschinen und Geräte von 19 bis 37 kW: 30.Nov. 2008; Für Gemeinden Nußdorf-Debant bis Stadtgebiet von Lienz, für Maschinen und Geräte > 37 kW: 1.Mai 2006, für Maschinen und Geräte von 19 bis 37 kW: 30.April 2008; Für Gemeinden Absams bis Zirl, für Maschinen und Geräte >37 kW: 30. Oktober 2005, für Maschinen und Geräte von 18 bis 37 KW: 30.Oktober 2007.	ausgewählte Gemeinden	
Voralberg	Maßnahmen im Rahmen des: 30+1 Punkte Maßnahmenprogramms, wurde am 10. Mai 2005 von der Vorarlberger Landesregierung beschlossen.			
Wien	LGBL. Nr. 47/2005 IDF LGBL. Nr. 15/2006	für Maschinen, Geräte und sonstige mobile technische Einrichtungen mit einer Leistung von > 37 kW am 1.9.2006 und für Maschinen und Geräte von 18 kW bis 37 kW am 1.1.2008	gesamtes Gebiet der Bundeshauptstadt Wien	

Förderaktion des Bundes für Umweltinvestitionen

Im Rahmen des Umweltförderungsgesetzes (idF. 4.6.2008) werden unter Abschnitt 3, § 24, Punkt 2 Investitionen zur Vermeidung und Verringerung der Luftbelastungen durch Staubemissionen in Baumaschinen und Baustellengeräte mit Selbstzündungsmotoren, im Sinne der Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (MOT-V), gefördert. Die Förderung wird über die Kommunalkredit Public Consulting GmbH abgewickelt. Die Fördersätze für Investitionen zur Verminderung oder Verringerung von Umweltbelastungen durch Staubemissionen betragen bis zu 50%, wobei die Förderungshöhe in Abhängigkeit von der Art der verminderten Emissionen und dem Ausmaß der Verringerung oder Vermeidung festzulegen ist.

ArbeitnehmerInnen Schutz im Off – Road Bereich

An dieser Stelle soll auf die Grenzwertverordnung und das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) eingegangen werden, welche u. a. auch im Off - Road Sektor gültig sind.

In der auf Grundlage des ASchG erlassenen Grenzwertverordnung 2007 (GKV 2007) werden partikelförmige Dieselmotoremissionen als eindeutig krebserregend eingestuft. Auch nach den technischen Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS 906) der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin werden Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, in denen Dieselmotoremissionen freigesetzt werden, als krebserregende Tätigkeiten oder Verfahren eingeordnet.

Für krebserregende Stoffe werden keine Grenzwerte im Sinne von Unbedenklichkeitsschwellen sondern TRK-Werte (technische Richtkonzentrationen) festgelegt. Eine TRK-Wert ist der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der jene Konzentration eines gefährlichen Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz angibt, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann und der als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist. TRK-Werte sind nur für solche gefährlichen Arbeitsstoffe festzusetzen, für die nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Werte aufgestellt werden können.

Die Einhaltung der TRK-Werte kann das Risiko einer Gesundheitsbeeinträchtigung vermindern, kann dieses aber nicht vollständig ausschließen.

Innerhalb des Arbeitnehmerschutz-Konzepts wird im Umgang mit der Exposition von Karzinogenen (wie Dieselruß) von einem mehrstufigen Ansatz ausgegangen. Zum einen existieren TRK-Werte, Höchstwerte, die nicht überschritten werden dürfen und zum anderen gilt das Minimierungsgebot. Dieses besagt, dass unabhängig von der Höhe der Emissionsbelastung am Arbeitsplatz und unabhängig von der Frage in wie weit TRK-Werte eingehalten werden, eine Minimierung der Arbeitsplatzbelastung nach jeweils aktuellem Stand der Technik notwendig (Sottopietra 2007) ist. Das Minimierungsgebot ist in §43 und §45 des

ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes wie auch in den TRGS 554 der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin angeführt.

Die TRK-Werte nach der GKV 2007 für Dieselmotoremissionen sind in nachfolgender Tabelle abgebildet.

Tabelle 3-6 TRK-Werte für Dieselmotoremissionen

TRK-Werte [mg/ Nm ³]	Bauarbeiten unter Tage und Untertagebergbau	Bauarbeiten, übrige Tätigkeiten
Schicht (8 Stunden)	0,3	0,1
Kurzzeitmittelwert (15 Minuten)	1,2	0,4

Quelle: GKV 2007, Anhang I

4. Emissionssituation

4.1 Baumaschinen in der österreichischen Luftschadstoffinventur

Die Emissionen der Baumaschinen werden in der österreichischen Luftschadstoffinventur zum Sektor Industrie gezählt (NFR Code 1A2f, Other mobile Industry).

4.2 Emissionsberechnung – Off-Road Maschinen

Zur Erfassung der Emissionen des gesamten Off-Road Sektors (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Inlandschifffahrt, Industrie, Haushalt, Bahn, Militär) vergab das Umweltbundesamt im Jahr 2000 eine Studie an die Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (Interner Bericht, nicht publiziert).

Im Zuge dieser Studie aus dem Jahr 2000 wurden Bestandsdaten, Einsatzzeiten sowie Energieverbrauch und Emissionen aller mobilen Geräte und Maschinen in Österreich erhoben bzw. berechnet. Der Inhalt und die Methodik der Studie werden nachstehend beschrieben.

Im Jahr 2008 erfolgte eine neuerliche Überrechnung der Studie, im Bestandsdaten, Einsatzzeiten sowie Emissionsfaktoren zu aktualisieren.

4.2.1 Erhebungsmethode

Die verwendeten Bestands-, Einsatz- und spezifischen Verbrauchswerte beruhen auf folgenden Quellen:

1. Statistiken (meist ÖSTAT)
2. Auswertung versendeter Fragebögen an Betriebe die die jeweiligen Maschinen verwenden
3. Auswertung versendeter Fragebögen an Hersteller
4. Interviews mit Experten (Hersteller, Lehre, Forschung)
5. Expertenschätzungen

Die Fragebögen und Interviews wurden verwendet, um die Vielzahl bislang nicht erfasster Daten zu erheben. Dabei wurden im Allgemeinen aus den Befragungen durchschnittliche spezifische Bestands- und Aktivitätsdaten ermittelt (z.B. Traktoren und Traktoreinsatzstunden je Hektar (ha) bewirtschaftete Fläche). Die Daten wurden dabei in den meisten Kategorien jeweils auf Beschäftigte, Umsatz und bearbeitete Fläche bezogen. Die Hochrechnung auf den Gesamtbestand in Österreich erfolgte durch Multiplikation mit

dem gesamten Bezugswert (z.B. Traktoren und Einsatzzeiten je ha mal ha landwirtschaftlich genutzte Fläche). Standen mehrere Bezugswerte zur Verfügung (z.B. landwirtschaftlich genutzte Fläche, Beschäftigte, Umsatz) so wurde im Allgemeinen der Wert zur Hochrechnung herangezogen, für den die Auswertung der Fragebögen die geringste Standardabweichung ergab.

Es wurden für jede Kategorie ca. 300 Fragebögen verschickt. Die Rücklaufquote lag zwischen 5% und 25%.

Schätzungen waren notwendig, wenn ein nicht signifikanter Stichprobenumfang vorlag. Dies betraf allerdings nur Größen, die für das Gesamtergebnis von geringer Bedeutung sind.

Zur Absicherung der Werte wurden Expertenbefragungen durchgeführt.

Die spezifischen Verbrauchs- und Emissionswerte in $[g/kWh_{\text{Motorleistung}}]$ wurden aus der Literatur entnommen. Messungen wurden im Zuge des Projektes nicht durchgeführt, erscheinen aber in einigen Bereichen noch erforderlich zu sein, da die Daten aus der Literatur speziell für Ottomotoren (2- und 4-Takt) stark differieren.

In der Studie 2008 wurde darüber hinaus auf die Daten der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria zurückgegriffen. Im Jahr 2008 wurde eine Sonderauswertung für die eingesetzten Maschinen und Geräte im Industriesektor inkl. Bauwirtschaft) durchgeführt. Zusätzlich erfolgte ein Update der Emissionsfaktoren anhand neuer Veröffentlichungen.

Maschinenbestand Baumaschinen

In der nachstehenden Tabelle sind die für die Bauwirtschaft gebräuchlichen und somit in der Emissionsinventur berücksichtigten Maschinen angeführt. Die verwendeten Maschinenkategorien sind der Baustatistik 1995 (ÖSTAT 1997) entnommen:

Erfasst wird laut Verordnungen des Bundesministers für Bauten und Technik BGBl. Nr. 117/1977 (Baugewerbe) und BGBl. Nr. 118/1977 (Bauindustrie) die für Bauleistungen wesentliche maschinelle Ausrüstung nach Anzahl, Anschlusswert in Kilowatt und Eigenmasse (Eigengewicht) in Tonnen. Die dem Erhebungs- und Publikationsprogramm zugrunde liegenden Baumaschinen und –geräte sind den Hauptgruppen der österreichischen Baugeräteliste 1991 entnommen.

Zum Bestand zählen in dieser Studie nur **firmeneigene**_Geräte, Maschinen, Fahrzeuge und Baustelleneinrichtungen. Nicht einbezogen sind **firmenfremde** Leih- oder Mietgeräte.

Somit wird eine geringe Anzahl an Traktoren bzw. Sattelschleppern – da sie im Firmenbesitz sind – der Bauwirtschaft zugeordnet.

Tabelle 4-1 Maschinenkategorien Bauwirtschaft (lt. Baustatistik 1995)

MASCHINENKATEGORIE
Dieselbetriebene Transportmischer
Krane
Planiertrauben
Betonpumpen und -förderer
Betonsägen
Laderaube/Radlader
Bagger
Grader
Stampf- und Rüttelgeräte
Walzen
komplette maschinelle Bohrgeräte
Kompressoren
Asphaltnischenanlage Heizung
Bitumen-, Asphaltkocher und Spritzmaschinen
Brecheranlagen
Asphaltfräsen
Asphaltfertiger
Dieselbetriebene Bohrwagen und Wurfchauffellader
Diesellokomotiven
Stromaggregate
Dreiseitenkipper
Gabelstapler
Zugmaschinen (Rad- und Sattelschlepper)
Traktoren

4.2.2 Berechnungsmethode

Für die Berechnung wurde ein Computerprogramm programmiert, das die Altersstruktur des Bestandes über Ausfallwahrscheinlichkeiten ermittelt. Es wird dabei der Bestand für jede Kategorie nach Jahr der Erstzulassung und Antriebsart (Diesel >80kW, Diesel <80 kW, Otto-4-Takt, Otto-2-Takt) berechnet.

Da die spezifischen Verbrauchs- und Emissionswerte stark vom Alter bzw. dem Jahr der Erstzulassung der Motoren abhängen, hat dieses Verfahren deutliche Vorteile in der

Genauigkeit. Gegenüber sonst üblichen Methoden (z.B. CORINAIR, 1999) kann der Einfluss der Altersstruktur auf das Emissionsniveau berücksichtigt werden.

Die Bestandsmodellierung erfolgt so automatisch in Jahresschritten. Vorzugeben sind lediglich der Gesamtbestand, die Ausfallwahrscheinlichkeiten und die Neuzulassungsanteile nach Motorart.

Die gesamten Emissionen und der Kraftstoffverbrauch werden mit Emissionsfaktoren in [g/kWh Motorleistung] berechnet. Die durchschnittliche Motorleistung wird dabei für jede Fahrzeugkategorie vorgegeben.

Die Emissionsfaktoren werden nach Jahrgängen der Erstzulassung vorgegeben („Abgasklassen“). Es wird z.B. den Baujahren 1994 bis 1997 für jede Abgaskomponente ein bestimmter Emissionsfaktor zugeordnet, den Baujahren 1998 bis 2000 ein anderer Emissionsfaktor (im Allgemeinen niedriger). Die zeitliche Zuordnung der „Abgasklassen“ erfolgte nach verfügbaren Daten und beobachteten Änderungen der Emissionsniveaus.

Der Gesamtverbrauch und die Gesamtemissionen jeder Abgasklasse ergeben sich dann aus:

$$E = \sum_{AG} \text{Bestand}_{AG} \times \text{Einsatzzeit} \times kW \times \frac{e}{kW}$$

mit:

<i>E</i>	<i>Gesamtemission einer Abgasklasse</i>
<i>AG</i>	<i>Abgasklasse</i>
<i>Bestand</i>	<i>Gesamtbestand einer Abgasklasse (Summe der Bestände aller Erstzulassungsjahrgänge die dieser Klasse zugeordnet sind)</i>
<i>Einsatzzeit</i>	<i>spezifische Einsatzzeit als Funktion des Alters in [h/Jahr]</i>
<i>kW</i>	<i>Mittlere Motorleistung im Betrieb</i>
<i>e</i>	<i>spezifischer Emissionswert der Abgasklasse [g/kWh]</i>

Der Gesamtverbrauch und die Gesamtemissionen eines Motortypes einer Kategorie ergeben sich aus der Summe aller Abgasklassen.

Der Gesamtverbrauch und die Gesamtemissionen einer Kategorie ergeben sich aus der Summe aller Motortypen.

Mit dieser Methode können alle wesentlichen Effekte berücksichtigt werden:

- Abhängigkeit des Emissionsniveaus von der Motorart

- Abhängigkeit des Emissionsniveaus von der tatsächlich benötigten Motorleistung
- Abhängigkeit des Emissionsniveaus vom Baujahr des Motors
- Abhängigkeit der jährlichen Einsatzzeit vom Alter des Gerätes (neue Geräte werden im Durchschnitt mehr eingesetzt als alte).

Das Programm wurde so ausgelegt, dass Bestandsstruktur und Emissionen automatisch für die Jahre 1990 bis 2030 berechnet werden können. In der vorliegenden Arbeit wurden Emissionsdaten für das Jahr 2007 verwendet.

4.2.2.1 Emissionsberechnung Sektor Industrie

Im Industriesektor existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Geräten, deren einzelne Erfassung mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist. Um eine höhere Signifikanz der Fragebogenauswertung zu erhalten, wurden die einzelnen Geräte folgendermaßen gruppiert:

- Geräte mit Dieselmotoren >80 kW
- Geräte mit Dieselmotoren <80 kW
- Geräte mit 4-Takt-Ottomotoren
- Geräte mit 2-Takt-Ottomotoren

Die Ergebnisse der Fragebögen (Geräte und Einsatzzeiten je Umsatz, in der Bauindustrie auch nach realem Bauproduktionswert⁶) wurden nach Industriesektoren getrennt ausgewertet und auf die gesamtösterreichischen Werte hochgerechnet.

Bauwirtschaft

Der Gesamtbestand an mobilen Geräten wurde in der Studie 2000 aus den auf den Umsatz bezogenen Auswertungen der Fragebögen berechnet. Dabei wurde der Gesamtbestand auf Basis der eingegangenen Fragebögen berechnet und mittels des Bestandes je Umsatz auf gesamt Österreich hochgerechnet. Eine haltbare Auswertung bezogen auf den Bauproduktionswert war nicht möglich, da dieser in den retournierten Fragebögen fast nie angegeben war. Die Auswertung bezogen auf den Umsatz beinhaltet wegen der häufig an Subunternehmen vergebenen Aufträge die Möglichkeit einer Überbewertung des Bestandes.

Die zeitliche Entwicklung des Bestandes wurde - nach Rücksprache mit der Vereinigung Industrieller Bauunternehmer Österreichs und einer Stellungnahme des Verbandes Österreichischer Baumaschinenhändler - daher über die Entwicklung des realen Bauproduktionswertes mit einem angenommenen zeitlich konstanten Bestand an Geräten je Mio. Bauproduktionswert durchgeführt.

⁶ Bauproduktionswert ist der Produktionswert von Baustellen aus reiner Bautätigkeit (an Auftraggeber verrechenbare Eigenleistungen, Rohstoffe und Fremdleistungen).

Emissionsfaktoren

In der nachfolgenden Tabelle sind die verwendeten Emissionsfaktoren für das Berechnungsjahr 2007 dargestellt. Die Emissionsfaktoren wurden für alle zu berechnenden Kategorien herangezogen, lediglich die mittlere Motorleistung wurde unterschiedlich vorgegeben. Die Emissionsfaktoren stammen aus neuen Veröffentlichungen. Systematische Messkampagnen zum Emissionsverhalten der Motoren mobiler Maschinen im realen Betrieb sind noch nicht verfügbar.

Tabelle 4-2 Verwendete Emissionsfaktoren für Dieselmotoren

Baujahr ab	> ca. 80 kW in [g/kWh]	< ca. 80 kW in [g/kWh]
1980	2,36	3,04
1994	1,62	2,18
2002	0,89	1,68
2004	0,30	0,55
2007	0,17	0,28

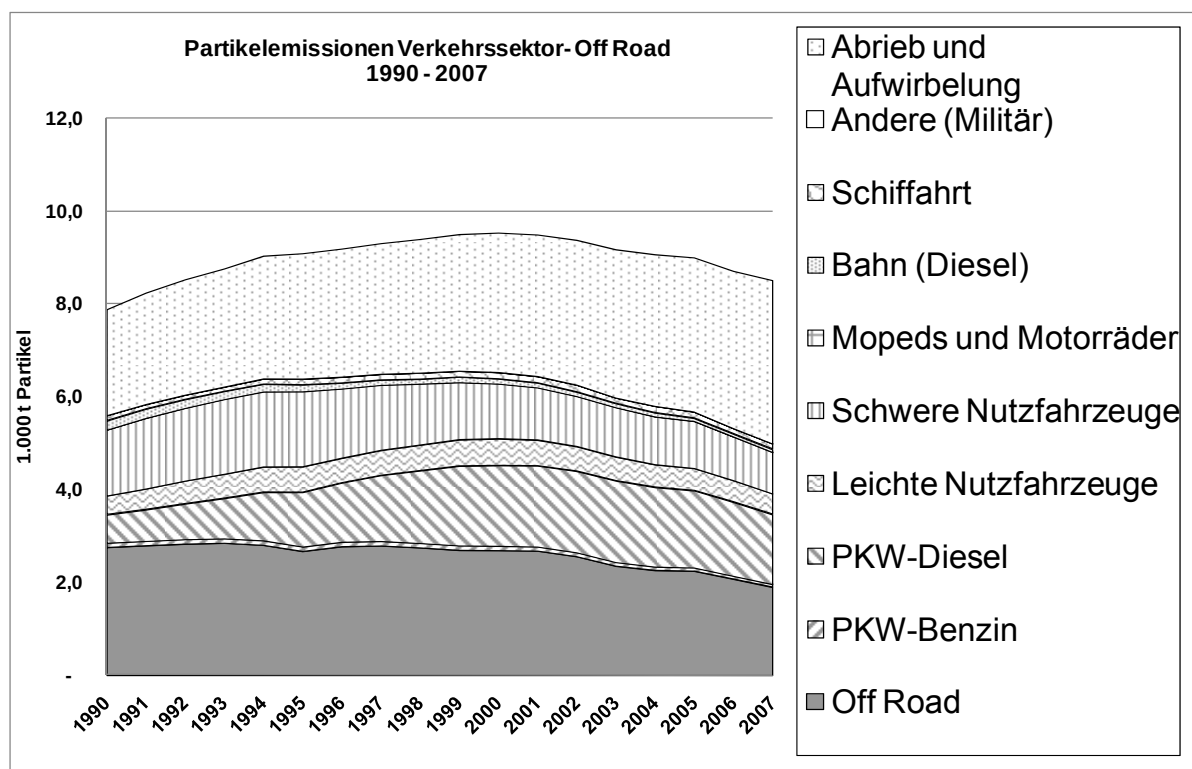
4.3 Emissionstrends

4.3.1 Partikelemissionen Verkehr Gesamt – Off-Road

Der gesamte österreichische Verkehrssektor emittierte rund 6.600 t Partikelemissionen im Jahr 2007. Dieser Sektor umfasst die direkten Verbrennungsemissionen und die Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen aus Flug, Straße, Bahn, Schiff, Pipelines und Militär⁷. Mit rund 6.400 Tonnen Partikelemissionen (davon mehr als 50% Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen) ist der Straßenverkehr der Hauptverursacher. Die Partikelemissionen aus Verbrennungskraftmaschinen stammen beinahe ausschließlich von Dieselmotoren. Von 1990 bis 2007 haben die Partikelemissionen des Verkehrssektors um rund 29% zugenommen.

Im Vergleich dazu emittierte der gesamte Off-Road Sektor rund 1.900 Tonnen. Die Emissionen des Off-Road Sektors sind seit 1990 um 31% gesunken.

⁷ Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie lagen die endgültigen Emissionsergebnisse der österreichischen Luftschadstoffinventur 2008 (für den Zeitraum 1990 – 2007) noch nicht vor. Bei den 6.500 Tonnen Partikelemissionen sind die Flugemissionen (kommerzieller Flugverkehr, nicht-kommerzieller Flugverkehr bzw. Militär), die Abrieb- bzw. Aufwirbelungsemissionen der Bahn und die Emissionen der Pipelines nicht enthalten. Nach Fertigstellung der Österreichischen Luftschadstoffinventur 2008 ist mit einer Zunahme der Partikelemissionen des gesamten Verkehrssektors von rund 10% zu rechnen.

Abb. 4-1 Partikelemissionen Verkehr vs. Off-Road 1990 – 2007 [1.000]**Tabelle 4-3 Partikelemissionen Verkehr vs. Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen]**

	1990	1995	2000	2005	2007
PKW-Benzin	0,1	0,1	0,1	0,08	0,07
PKW-Diesel	0,6	1,2	1,7	1,67	1,51
Leichte Nutzfahrzeuge	0,4	0,5	0,6	0,47	0,44
Schwere Nutzfahrzeuge	1,4	1,6	1,2	1,02	0,91
Mopeds und Motorräder	-	-	-	-	-
Bahn (Diesel)	0,2	0,1	0,1	0,06	0,06
Schifffahrt	0,1	0,1	0,1	0,13	0,12
Andere (Militär)	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
Abrieb und Aufwirbelung	2,3	2,7	3,0	3,32	3,52
Off Road	2,8	2,7	2,7	2,24	1,90

Von den rund 2.900 Tonnen Partikelemissionen des Straßenverkehrs (reine Verbrennungsemissionen) wird mehr als die Hälfte dieser Emissionsmenge von Personenkraftwagen emittiert. Die Partikelemissionen der Personenkraftwagen – welche beinahe aus-

schließlich von Dieselmotoren stammen – haben von 1990 – 2007 um rund 122% zugenommen. Durch die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie, die Einführung von Abgasnachbehandlungssystemen sowie eine höhere Qualität der Kraftstoffe konnten die Emissionen des Einzelfahrzeugs deutlich reduziert werden. Die technischen Erfolge beim Einzelfahrzeug werden durch den Anstieg der Fahrleistung des Individualverkehrs überschattet. Die Fahrleistungszunahme aller Personenkraftwagen von 1990 bis 2007 betrug rund 49%. Die Fahrleistungszunahme der Diesel PKW, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Partikelemissionen haben, betrug – bedingt durch den starken Trend zu Dieselfahrzeugen – rund 396% im gleichen Zeitraum. Bei Benzin PKW erfolgte eine Fahrleistungsabnahme von rund 28%.

Die Partikelemissionen der PKW steigen bis zum Jahr 2000 kontinuierlich an, anschließend stagnieren die Emissionen bis 2005, seit 2005 ist ein abnehmender Trend ersichtlich. Diese Veränderungen in der Zeitreihe sind auf die Einführung der Abgasgrenzwerte (2000 Euro 3, 2005 Euro 4) zurückzuführen.

Im Vergleich dazu sind die Emissionen des Off-Road Sektors im Jahr 2007 um beinahe 20% höher als die Emissionen des PKW Verkehrs. Die Emissionen des Off-Road Sektors sind – abgesehen von den jährlichen Schwankungen zwischen 1994/1995 – relativ konstant. Ab 2001 ist ebenfalls der positive Einfluss der EU Off-Road Emissionsrichtlinie (Stufe 2) ersichtlich.

Abb. 4-2 Partikelemissionen PKW vs. Off-Road, Fahrleistung PKW 1990 - 2007

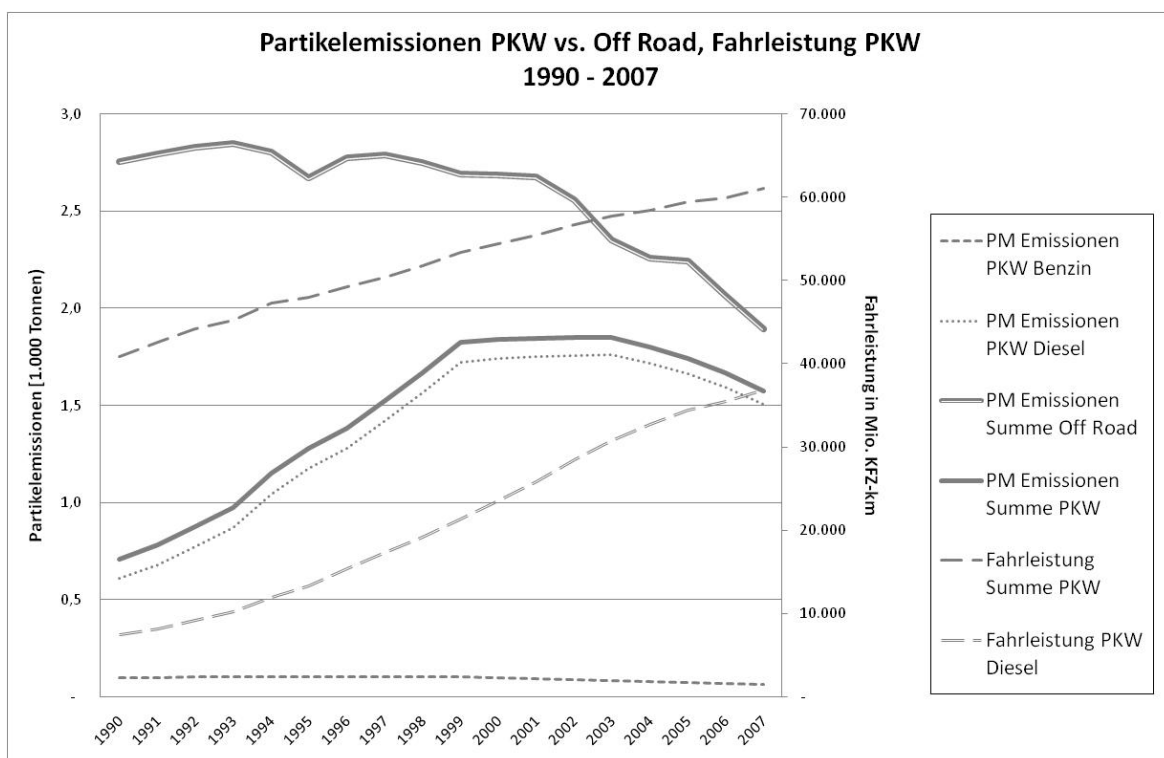
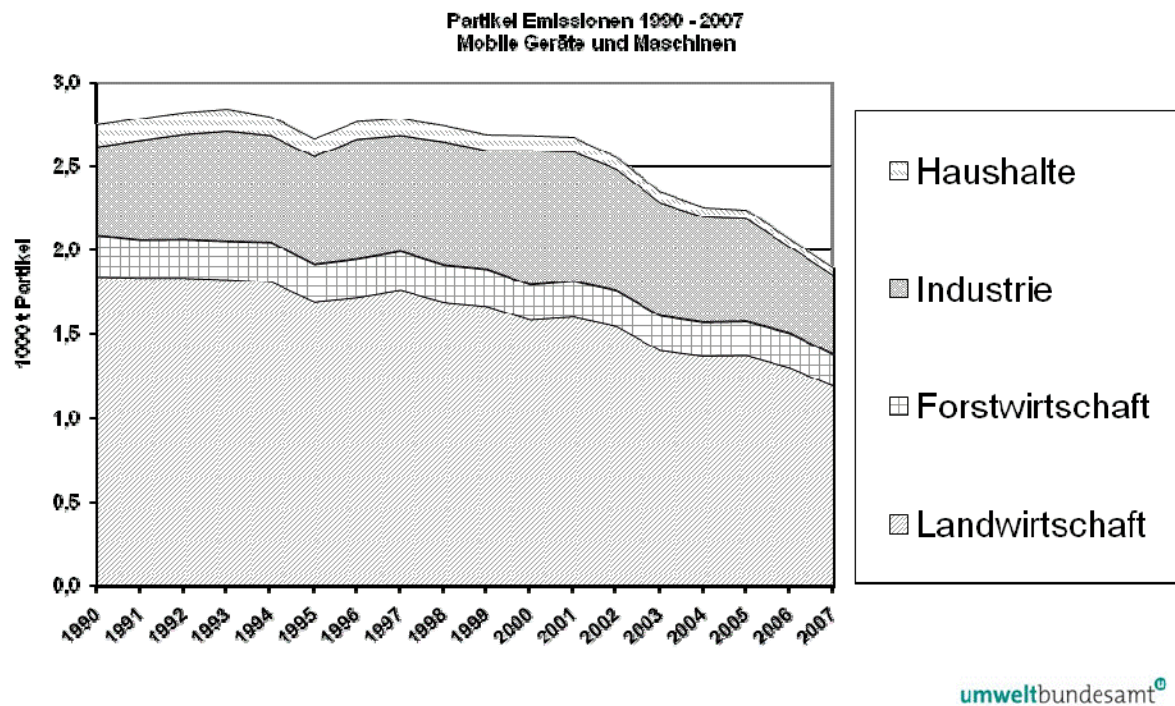


Tabelle 4-4 Partikelemissionen PKW vs. Off-Road, Fahrleistung PKW 1990 - 2007

	1990	1995	2000	2005	2007
PM Emissionen PKW Benzin [Gg]	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07
PM Emissionen PKW Diesel [Gg]	0,61	1,18	1,74	1,67	1,51
PM Emissionen Summe Off Road [Gg]	2,75	2,67	2,69	2,24	1,90
PM Emissionen Summe PKW [Gg]	0,71	1,28	1,84	1,74	1,57
Fahrleistung Summe PKW [km in Mio]	40.849	48.016	54.376	59.414	61.036
Fahrleistung PKW Diesel [km in Mio.]	7.438	13.288	23.575	34.450	36.870

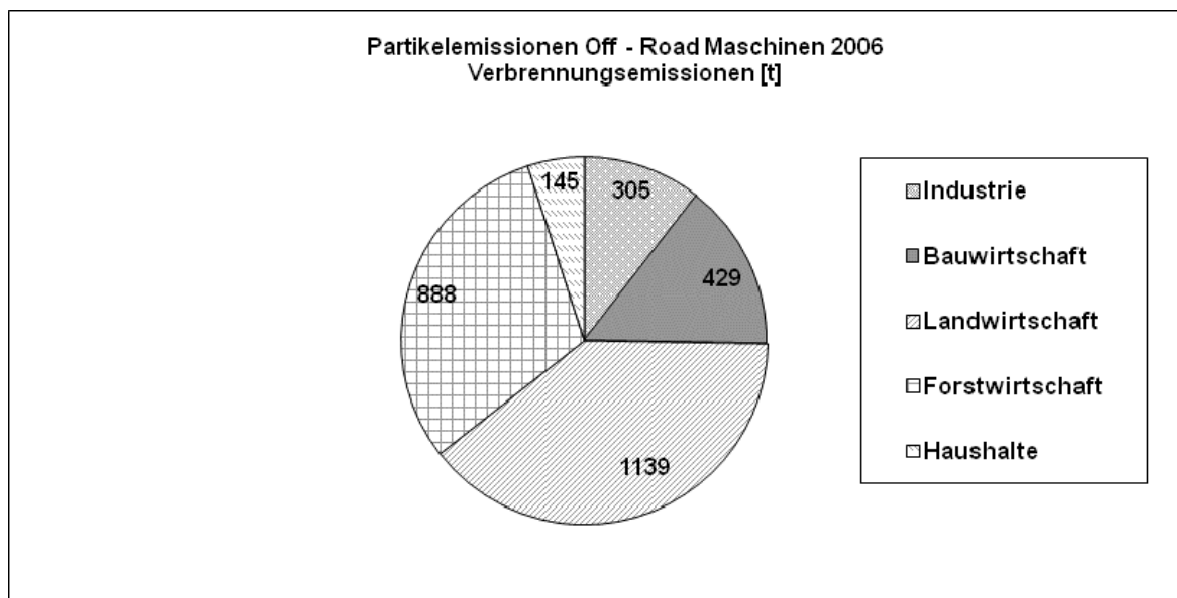
4.3.2 Darstellung PM Emissionen Off-Road Sektor

Zum Off-Road Sektor werden die Emissionen aus Haushalte, Industrie, Militär, Land- und Forstwirtschaft gezählt. Die Gesamtemissionen dieses Sektors haben von 1990 bis 2007 von 2.800 t auf 1.900 t abgenommen. In allen Bereichen ist ein abnehmender Trend ersichtlich, der stärkste Rückgang fand bei den mobilen Geräten und Maschinen der Haushalte statt (-67%). Zurückzuführen ist diese Abnahme auf technologische Verbesserungen der Antriebstechnologien. Der Großteil der Emissionsmenge fällt in den Bereich Landwirtschaft mit einem Anteil von 63%. Im Jahr 2007 beträgt der Anteil der Industrie (inkl. Bauwirtschaft) rund 25%.

Abb. 4-3 Partikelemissionen Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen]**Tabelle 4-5 Partikelemissionen Off-Road 1990 – 2007 [1.000 Tonnen]**

	1990	1991	1996	2001	2007
Landwirtschaft	1,85	1,70	1,59	1,38	1,20
Forstwirtschaft	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18
Industrie	0,53	0,64	0,80	0,61	0,47
Haushalte	0,13	0,11	0,09	0,05	0,04

Die Emissionen der Bauwirtschaft werden zum Sektor „Mobile Geräte und Maschinen in der Industrie“ gezählt. Im Jahr 2007 betrugen die Gesamtemissionen der Bauwirtschaft rund 452 Tonnen, das sind rund 24% der gesamten Off-Road Emissionen.

Abb. 4-4 Partikelemissionen Off-Road Maschinen 2007 [Tonnen]**Tabelle 4-6 Partikelemissionen Off-Road Maschinen 2007 [Tonnen]**

2007	Tonnen
Industrie	19,0
Bauwirtschaft	452,1
Landwirtschaft	1195,6
Forstwirtschaft	184,7
Haushalte	43,7

5. Partikelnachbehandlungssysteme im Off-Road Bereich

5.1 Vergleich „Offene“ und „Geschlossene“ Partikelfiltersysteme

Generell ist das Angebot an Nachrüstsystemen mittlerweile sehr groß, wobei im Baumaschinenbereich aufgrund der Vielfalt an Maschinentypen und deren unterschiedlichen Einsatzbedingungen meist auf den Anwendungsfall abgestimmte Speziallösungen eingesetzt werden. Im Unterschied zum Pkw-Segment, wo als Nachrüstlösung derzeit ausschließlich sogenannte „offene Systeme“ verfügbar sind, dominieren im Baumaschinensektor „geschlossene Systeme“. Offene Systeme bilden die einfachste und kostengünstigste Möglichkeit einer Nachrüstung, jedoch sind auch die Wirkungsgrade dementsprechend gering.

Offene Systeme sind meist als Durchflussfilter (sogenannte Partikelkatalysatoren), bestehend aus Stahlfolien zur Partikelabscheidung, ausgeführt. Mittels Strömungsleitetechnik werden die Partikel vom Abgas getrennt, wobei die Partikel kontinuierlich bei ausreichender NO_2 Konzentration und Temperatur oxidieren, vorausgesetzt das System findet passende Betriebsbedingungen vor. Vorgelagert wird mithilfe einer katalytischen Schicht nach dem CRT (Continuous Regenerating Trap bzw. kontinuierlich regenerierende Falle) NO zu NO_2 umgewandelt. Durchflussfilter sind in der Regel nicht sensorisch überwacht, weshalb konstruktiv ein Bypass vorgesehen werden muss, der das Abgas bei zu hohem Abgasgedruck beziehungsweise bei zu hoher Filterbeladung am Filter vorbeileitet. Die Wirkungsgrade sind deshalb wesentlich geringer als bei geschlossenen Systemen. Bei Pkw Typprüfzyklen wie dem NEFZ liegen die Wirkungsgrade solcher Systeme um die 30 Prozent.

Geschlossene Systeme hingegen bieten kontinuierlich hohe Wirkungsgrade durch differenzdruckabhängige kontrollierte Regenerierung. Die Partikelschicht, die sich als Ablagerung im Betrieb bildet, wird Filterkuchen genannt. Durch die Anlagerung von Partikeln steigt der Differenzdruck über den Partikelfilter an. Ab einem bestimmten Schwellwert, muss daher eine Regeneration eingeleitet werden. Eine gesicherte Filterregeneration bedingt eine eigene Regelung des Systems. Die zum Einsatz kommenden Filtermedien entsprechen in der Regel hohen Anforderungen bezüglich Betriebsfestigkeit und Lebensdauer. Meist kommen oberflächenreiche Strukturen aus hochwarmfesten Werkstoffen zum Einsatz. Beispiele hierfür sind (Handbuch Verbrennungsmotor, 2007):

- Keramisch monolithische Zellenfilter
- Metall-Sinterfilter

- Faser-Wickelfilter
- Faser-Strickfilter
- Faser-Flechtfilter
- Filterpapiere/Filterfilze/Filtervliese (geeignet für niedrige Abgastemperaturen bis zirka 300°C)

Die Filterbelegung passiert je nach Rohemission des Motors, Betriebsweise, Schmierölverbrauch, Brennstoff- und Schmieröl-Eigenschaften und Filtereigenschaften relativ rasch. Die Regeneration wird mittels „aktiver“ (Energiezufuhr) und „passiver“ (Absenkung der Aktivierungsenergie) Verfahren durchgeführt, meist als eine Kombination beider. Alternativ können für Spezialanwendungen auch Einweg- und Wechselfilter eingesetzt werden. Folgende „aktive“ Systeme sind derzeit gängig (Handbuch Verbrennungsmotor, 2007):

- Diesel-Brenner
- Elektrische Beheizung
- Regenerations-Energie aus der motorischen Verbrennung

„Passive“ Regenerationshilfen wirken entweder durch Additivierung des Brennstoffs oder durch katalytische Beschichtung der Filteroberfläche.

In diesem Bericht werden aufgrund der Wirksamkeit und der Dominanz am Markt bezogen auf Baumaschinen ausschließlich geschlossene Systeme betrachtet.

5.2 Serienmäßige Partikelfiltersysteme

Eine umfassende Recherche zu Off-Road Maschinen, die serienmäßig mit Partikelfiltersystemen ausgestattet sind, ergab, dass diese derzeit nicht am Markt angeboten werden. Lediglich ein Hersteller⁸ von Kommunalfahrzeugen und Kompaktbaggern stattet alle straßenzugelassenen Fahrzeuge serienmäßig mit Partikelfiltersystemen aus und bietet diese optional für die Off-Road Modellpalette an.

Während bei Personenkraftwagen ein sukzessiver Fortschritt bezüglich der Verringerung der Verbrennungsemissionen zu beobachten ist⁹, so konnte sich bis jetzt noch kein Hersteller von Off-Road Maschinen durchringen, seine Maschinen routinemäßig mit Filtersystemen auszurüsten.

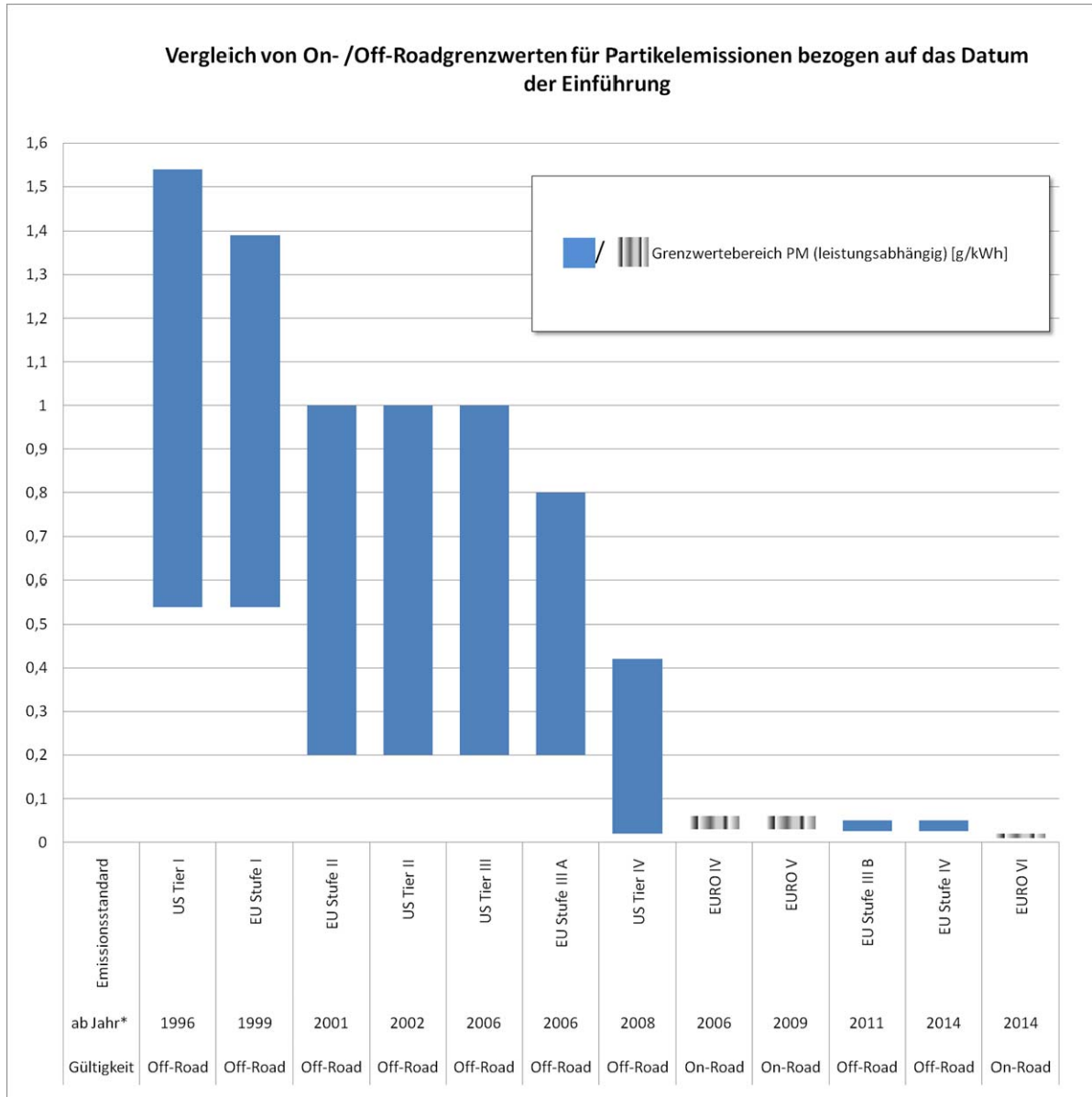
Die folgende Abbildung zeigt – wie schon im Kapitel 3.1 beschrieben – die derzeit gültigen Grenzwerte für den Off-Roadbereich (Tier 3 entspricht Stufe III) gemäß *Direktive*

⁸ Kiefer GmbH; <http://www.kiefergmbh.de/>

⁹ Durch die Spreizung der NOVA Regelung für PKW im Jahr 2007 mit bzw. ohne Partikelfilter stieg der Anteil der neu zugelassenen Fahrzeuge mit Dieselmotor und Partikelfilter in Österreich auf über 80%.

2004/26/EC, gültig von 2006 bis 2013. Daraus wird ersichtlich, dass die Reglementierung im Off-Road Bereich derzeit weit weniger streng ist, als im On-Road Bereich.

Abb. 5-1 Zeitliche Entwicklung der On- und Off-Road-Abgasgrenzwerte



Quelle: CTI Konferenz , Präsentiert von F. Jaussi, im Juli 2008.

Beginnend im Jahr 2011 wird je nach Motorleistung Stufe III B in Kraft treten. Die Limits für den Partikelaußstoß werden damit für alle Motorkategorien auf 0,025g/kWh reduziert, was bei einigen Anwendungen den Einsatz von Partikelfiltern forcieren wird.

Bis zum Jahr 2011 wird für Hersteller von Off-Road Maschinen keine Veranlassung zum serienmäßigen Einbau von Partikelfiltern bestehen. Auch für Stufe IV, welche 2014 in Kraft treten wird, ist keine zusätzliche Verschärfung des Partikelgrenzwertes vorgesehen. Ab

2011 (Stufe 3B bzw. 4) liegen die Grenzwerte für Baumaschinen auf dem Niveau der derzeitigen Grenzwerte (EURO 4) für schwere Nutzfahrzeuge (0,03 g/kWh).

Um ein Emissionsniveau von schweren Nutzfahrzeugen im Off-Road Bereich zu erreichen, wird auch zukünftig die Nachrüstung von Partikelfiltersystemen nötig sein.

5.3 Nachrüstsyste me im Off-Road Bereich

Das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat eine Liste diverser Partikelfiltersysteme ausgearbeitet¹⁰. Das Ziel der Liste ist es, effiziente und zuverlässige Partikelfiltersysteme für die Nachrüstung von Dieselmotoren zu empfehlen.

Die BAFU/Suva – Filterliste gibt Auskunft über Partikelfiltersysteme, welche für die Nachrüstung von Dieselmotoren empfohlen sind. Diese Partikelfiltersysteme sind nach einem definierten Testverfahren betreffend verschiedener Kriterien geprüft worden: Wirksamkeit zur Feinstpartikelabscheidung, katalytische Aktivität, mechanische Robustheit sowie Zuverlässigkeit auf dem Prüfstand und im Feld. Demzufolge haben die geprüften Partikelfiltersysteme eine anspruchsvolle technische Prüfung bestanden und sind damit tauglich für die Nachrüstung von Dieselmotoren bei Baumaschinen, bei anderen nichtstraßengebundenen beweglichen Maschinen und Geräten, bei stationären Anlagen sowie bei Straßenfahrzeugen.

Da die BAFU – Partikelfilterliste als aktuell und umfassend zu bewerten ist, werden im Folgenden die Ergebnisse und Informationen der Schweizer Publikation herangezogen.

Zu Erwähnen sei an dieser Stelle die Organisation AKPF¹¹ (mit Sitz in Österreich, Wien), diese wurde 1998 von Industriepartnern des VERT – Projektes¹² gegründet. Die Organisation bietet eine Plattform mit der Intention des Informationsaustauschs zwischen verschiedenen Stakeholdern des Themenfeldes Partikelfilter wie z.B. Herstellern, Vertriebsunternehmen und weltweiten staatlichen Institutionen mit speziellem Fokus auf den deutschsprachigen Raum. Darüber hinaus unterstützt AKPF ihre Mitglieder durch technische Arbeiten wie der Erstellung von Spezifikationen oder Hilfe bei Zertifikatsabwicklungen für Diesel-Partikelfiltersysteme oder Feldversuchen. Damit unterstützt AKPF auf Basis der VERT Liste weltweit die Einführung von Partikelfiltersystemen.

¹⁰ Filterliste BSFU/suva, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Dezember 2007

¹¹ Weitere Informationen zu Mitgliedern sowie das detaillierte Betätigungsfeld der Organisation finden sich im Internet auf www.akpf.org

¹² VERT: Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau: ein Projekt zur Untersuchung technischer Möglichkeiten zur Minimierung der Dieselpartikel-Emissionen bei bestehenden Motoren, (1994 – 1999) Gemeinschaftsprojekt der Schweiz. Unfallversicherungsanstalt (Suva), Österr. Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Deutschen Tiefbauberufsgenossenschaft (TBG), Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Deutschen Umweltbundesamtes (UBA) sowie einer großen Begleitgruppe der Industrie (www.Suva.ch).

5.3.1 Eignungstest und Bewertungskriterien für Partikelfiltersysteme nach BAFU

Im Rahmen des VERT-Projektes wurde durch umfangreiche Forschungsarbeiten und eine zweijährige Felderprobung bei Baumaschinen der Nachweis erbracht, dass praxisgerechte Partikelfiltersysteme mit Abscheidegraden von mehr als 95 Prozent im gesamten alveolengängigen Grössenbereich 20–300 nm verfügbar sind.

Mit weltweit geschätzt mehr als 200.000 Partikelfiltersystemen im Off-Road-Bereich wurde diese Bewertung inzwischen in großer Breite bestätigt. Damit ist der technische Stand der hocheffizienten Filtration von Feststoff-Feinpartikeln aus der motorischen Verbrennung etabliert.

Die vielfältigen Anforderungen an solche nachrüstbaren Partikelfiltersysteme aus Sicht der Luftreinhaltebehörde, der Motorenhersteller und der Anwender wurden durch die VERT-Partner in Form von Pflichtenheften und Kriterien erarbeitet, die nun in einem breiten Konsens der Bewertung solcher Partikelfiltersysteme zugrunde gelegt werden.

Diese Pflichtenhefte und Kriterien haben einen dynamischen Charakter, so dass sie von Zeit zu Zeit der Weiterentwicklung des technischen Standes angepasst werden müssen. Die gründliche Felderprobung im Rahmen des VERT-Projektes hat gezeigt, dass nicht alle Partikelfiltersysteme den Stand der Technik repräsentieren und deshalb für die Nachrüstung auch nicht geeignet sind. Damit ergab sich die Notwendigkeit zur Einführung eines Eignungstests (siehe Abschnitt 7.2).

Die Besonderheiten dieses Eignungstests sind einerseits die Beschränkung auf die Prüfung eines einzigen Partikelfiltersystems, das als repräsentativ für eine Partikelfilter-Familie mit einheitlicher Technologie gilt; andererseits müssen die Partikelfiltersysteme unter vielfältigen Betriebsbedingungen bezüglich ihres Emissionsverhaltens getestet werden, nämlich im Neuzustand, mit Ruß belegt und regeneriert, stationär und dynamisch und während Regenerationen. Partikelfiltersysteme, die mit katalytisch wirkenden Substanzen funktionieren (Beschichtungen und Additive), müssen darüber hinaus auch bezüglich toxischer Sekundäremissionen wie Dioxine, flüchtige organische Verbindungen (VOC), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Metalle und Aschen überprüft werden. Eine Nachmessung des Partikelfiltersystems nach mindestens 2000 Stunden im überwachten betrieblichen Einsatz rundet den Eignungstest ab.

Nur Systeme, die den vollständigen Eignungstest bestanden haben, werden in die Filterliste BAFU/Suva übernommen und zur Anwendung empfohlen (siehe Abschnitt 7.3).

Partikelfiltersysteme, die aufgrund früherer Filterlisten installiert wurden, sind davon jedoch nicht berührt. Sie dürfen weiter betrieben werden, sofern bei der periodischen Kontrolle die geforderten Grenzwerte eingehalten werden. Alle Maschinen mit Partikelfiltersystemen müssen periodisch kontrolliert werden. Sollte es sich zeigen, dass in einer statistisch repräsentativen Stichprobe mehr als 5 Prozent aller installierten Systeme einer Partikelfilter-Familie die Prüfung nicht bestehen, so wird das entsprechende Partikelfilter-

system aus der Filterliste gestrichen. Es kann erst nach Einführung der erforderlichen technischen Verbesserungen und nach einer erfolgreichen Nachprüfung wieder in die Filterliste aufgenommen werden.

Mit der Eintragung in die Filterliste übernehmen die Hersteller und die Schweizer Vertriebspartner von Partikelfiltersystemen die Verpflichtung, nur Technologien anzubieten, die dem VERT-Pflichtenheft genügen und exakt dem Prüfumfang des Eignungstests entsprechen, Änderungswünsche frühzeitig zu deklarieren sowie die Qualität ihrer Filtersysteme zu überwachen. Neuentwicklungen wie Treibstoffadditive, innermotorische Maßnahmen oder andere Abgasnachbehandlungs-Systeme mit äquivalenten Wirkungen zur Reinigung des motorischen Abgases von Feststoff-Feinpartikeln sind Partikelfiltersystemen grundsätzlich gleichgestellt und werden dem gleichen Prüfverfahren unterzogen.

Durch diese Bewertungskriterien sind die in der Liste angeführten Partikelfiltersysteme als wirksam und zuverlässig einzustufen.

5.3.2 VERT – Pflichtenheft

Die folgenden Mindestanforderungen sind im VERT-Projekt speziell für Baumaschinen erarbeitet worden. Sie können jedoch bei anderen Maschinen und Geräten und auch bei Fahrzeugen angewendet werden. Die nachstehenden Anforderungen stellen nur einen Auszug der wichtigsten Ansprüche dar. Detaillierte und vollständigere Inhalte finden sich im Anhang wieder.

- Verminderung der Partikelemissionen
- Keine Erhöhung limitierter Schadstoffe
- Keine relevante Erhöhung von Sekundäremissionen (Reaktionsprodukten)
- Höchstgrenzen für den Druckverlust
- Keine Erhöhung der Geräuschdämpfung
- Mindestanforderungen an Lebensdauer und Wartungsintervalle
- Vorschriften für Reinigung und Entsorgung

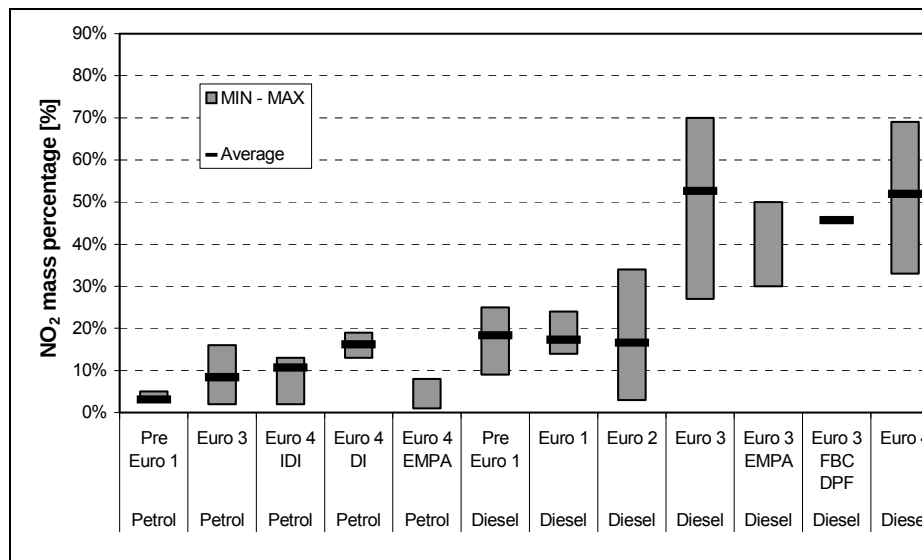
Exkurs: Einfluss von Partikelfiltersystemen auf NO₂ Emissionen

Partikelfiltersysteme können – je nach Funktionsweise – zu einer Zunahme der direkten NO₂ Emissionen führen. Verbrennungskraftmaschinen emittieren NO_x Emissionen in Form von NO und NO₂. Bei Fahrzeugen bzw. Geräten mit Dieselmotoren ohne Abgasnachbehandlung liegt das NO/NO₂ Verhältnis bei etwa 90/10 %. Moderne Abgasnachbehandlungssysteme umfassen oftmals eigene Oxidationskatalysatoren bzw. verfügen Filter über Beschichtungen, welche katalytisch aktiv sind. Dies führt – bei

gleichem NO_x Ausstoß – zu einer Anreicherung mit NO₂ im Rohgas, wodurch sich das NO/NO₂ Verhältnis in Richtung höherer NO₂ Konzentration verschiebt (etwa 50/50 %).

Die folgende Abbildung zeigt die Messergebnisse für verschiedene Fahrzeugkategorien und Abgasklassen für den Straßenverkehr.

Abb. 5-2 Direkte NO₂-Emissionen: Kenntnisstand und Konsequenzen



Quelle: Workshop über NO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr, Brüssel 2006, Präsentiert von Raimond Gense.

NO₂ ist aus gesundheitlicher Sicht erheblich kritischer einzustufen als NO. Durch die Erhöhung des NO₂-Anteils an den Stickstoffoxiden (NO_x) hinter dem Rußfilter-System ist eine Beurteilung der daraus resultierenden Immissionsbelastung notwendig. Grundsätzlich gilt, dass sich NO in der Natur nach einer gewissen Zeit und unter bestimmten Randbedingungen jedenfalls in NO₂ umwandelt, lokal kann es jedoch durch die verstärkte Umwandlung zu höheren NO₂ Konzentrationen kommen. Dem gegenüber steht eine deutliche Reduktion der direkten Partikelemissionen, welche aus gesundheitlicher Sicht als bedeutender einzustufen ist.

Der Einsatz von Partikelfiltersystemen reduziert die direkten Partikelemissionen von Dieselmotoren. Neben den direkten Partikelemissionen sind aus lufthygienischer Sicht auch die sekundär gebildeten Partikel von Bedeutung. Sekundärpartikel bilden sich überwiegend aus gasförmigen Luftschadstoffen, bei Verbrennungsmotoren speziell aus den NO_x bzw. SO₂ Emissionen. Die gasförmigen Emissionen von Verbrennungsmotoren sind für die sekundäre Partikelbildung von hoher Bedeutung, der Einsatz von Partikelnachbehandlungssystemen hat auf die Bildung von Sekundärpartikeln dem gegenüber einen vernachlässigbar geringen Einfluss.

5.3.3 Ablauf des Eignungstestes und Partikelfilterliste

Der genaue Ablauf des Eignungstestes sowie die Liste der Partikelfiltersysteme befinden sich im Anhang.

5.4 Nachrüstsysteme im Off-Road Bereich im internationalen Vergleich

5.4.1 Allgemeines

Tendenziell ist der Einsatz von Partikelfiltersystemen, welche fast ausschließlich als Nachrüttlösungen zur Verfügung stehen, noch am Anfang der Entwicklung. Vor allem der Off-Road Bereich, dem Baumaschinen hinzugezählt werden, entwickelt sich langsamer als der On-Road Bereich. Gründe hierfür sind sehr vielfältig, wie etwa fehlende Bestimmungen zu Partikelemissionen und Arbeitnehmerschutz und fehlende Anreize für die Bauwirtschaft. Aus technischer Sicht ist vor allem der vielerorts nicht vorhandene schwefelarme Kraftstoff beziehungsweise generell schlechte Treibstoffqualität ein Hindernis bei der Einführung von Partikelfiltersystemen.

Nichtsdestotrotz gibt es doch vielversprechende Vorhaben und Projekte für den Einsatz von Partikelfiltersystemen in Baumaschinen. Aktivitäten werden größtenteils auf kommunaler oder regionaler Ebene umgesetzt und sind derzeit sehr heterogen. Ein einheitlicher Standard in Bezug auf die Anforderungen an die Partikelfiltersysteme oder generell an Systeme zur Minimierung von Partikelemissionen lässt sich nicht benennen. Als Vorbild wird jedoch vermehrt der zuvor beschriebene VERT Standard erwähnt, allerdings arbeiten auch viele Staaten an eigenen Richtlinien.

Generell kann beobachtet werden, dass es sowohl geeigneter rechtlicher Bestimmungen und Richtlinien als auch Förderungen und Subventionierungen bedarf, um einen weitverbreiteten Einsatz von neuer Technologie zu forcieren. Hersteller und Betreiber müssen von den Vorteilen von Partikelfiltersystemen überzeugt werden. Bewährt hat sich unter anderem bei öffentlichen Ausschreibungen, Werbern, die Baumaschinen mit Partikelfiltersystemen einsetzen, einen Projektkostenvorteil anzurechnen. Dieser beträgt in einigen EU-Mitgliedsstaaten bis zu 5 Prozent der Gesamtprojektkosten. Das EU-Recht als Beispiel erlaubt außerdem eine sachbezogene Subventionierung von bis zu 50% entsprechend der De-Minimis¹³ Verordnung. Außerdem wird bei öffentlichen Ausschreibungen von Bauprojekten ein Einsatz von Partikelfiltersystemen in den verwendeten Baumaschinen vorgeschrieben.

¹³ Gemäß einer Mitteilung der europäischen Kommission vom 6. März 1996 gelten als De-minimis-Beihilfen die Beihilfen, die von einem Mitgliedstaat an ein Unternehmen vergeben werden und deren Betrag als geringfügig anzusehen ist. Folglich sind sie von der Anwendung der Wettbewerbsregeln ausgenommen. Die Voraussetzungen und Bedingungen sind in der De-minimis-Verordnung geregelt. Weitere Informationen zur Verordnung finden sich auf der Website der europäischen Kommission unter http://ec.europa.eu/comm/competition/state_aid/legislation/block.cfm

Das Problem der Partikelemissionen wurde zuerst in Europa und Nordamerika erkannt, von wo aus auch die ersten Initiativen ausgingen und auch derzeit global gesehen die intensivsten Bemühungen zur Bekämpfung dieser stattfinden. Vor allem Schwedens Vorreiterrolle bei der Untersuchung der Auswirkungen von Dieselemissionen der Implementierung von Gegenmaßnahmen ist evident. Erstmalig wurden dort auf Stadtebene im Jahr 1996 Umweltzonen in Stockholm, Malmö und Göteborg eingerichtet, die auch Baumaschinen als Emittenten berücksichtigten. Eine tragende Rolle in der Partikelbekämpfung hat ebenfalls die Schweiz mit der generellen Einführung einer Partikelfilterpflicht für Tunnelbau und bestimmte Baustellen auf Bundesebene. Außerdem entstammt die derzeit sehr weit verbreitete VERT Liste den Bemühungen der Schweiz.

Dem schwedischen Vorbild folgten in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre einige Projekte vorwiegend in den USA und Großbritannien auf regionaler und Landesebene. Breites Bewusstsein für die Partikelproblematik erwuchs weltweit bei den Behörden aber größtenteils erst in der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts. Mit der sukzessiven Einführung von schwefelarmen Kraftstoffen in Ländern wie Spanien, Italien, Polen, Brasilien, Australien und Singapur, ist es wahrscheinlich, dass diese Länder Partikelfilternachrüstprojekte starten werden.

Dezidiert erwähnt sei an dieser Stelle noch ein aktuelles Programm¹⁴ im Rahmen des „Environmental Technologies Action Plan (ETAP)“, vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert. Ziel ist die Entwicklung einer kosteneffizienten Technologie für Diesel - Partikelfilter, welche Gelände- und Baufahrzeuge sauberer machen soll.

Im Folgenden wird eine Übersicht über verschiedene Länder und Regionen über Partikelfilter im Baumaschinenbereich ohne Anspruch auf Vollständigkeit gegeben.

Schweiz

Die Schweiz gilt als sehr progressiv in der Bekämpfung von Partikelemissionen bei Baumaschinen. Trotz der absolut gesehen relativ geringen Anzahl an Baumaschinen, ist die Schweiz einer der größten Anwender von Partikelfilternachrüstsystemen. Heute kommen zirka 14.000 nachgerüstete Maschinen zum Einsatz. Alle Partikelfilternachrüstsysteme müssen in der Schweiz den strengen Vorgaben nach VERT genügen. Anstatt Nachrüstungen von Partikelfiltersystemen direkt zu fördern, werden bei Offerten für Bauvorhaben antizipierte zusätzliche Kosten für die Partikelfilternachrüstung hinzugerechnet, sofern die zum Einsatz kommenden Baumaschinen nicht über Dieselpartikelfiltersysteme verfügen.

Vorgeschrieben sind Dieselpartikelfiltersysteme für alle Dieselmotoren in der Schweiz bei allen Tunnelbauvorhaben seit dem Jahr 2000. Gemäß Baurichtlinie Luft (Bau RLL) gilt seit September 2005 eine generelle Partikelfilterpflicht für alle Großbaustellen.

¹⁴ Für weitere Informationen siehe http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jun08_clean_de.pdf.

Deutschland

Der Einsatz von Dieselpartikelfiltern in Fahrzeugen oder Flurförderzeugen, die in Räumen wie Ladehallen oder Baustellen im Tunnel eingesetzt werden, ist durch die technischen Regeln für Gefahrenstoffe¹⁵ (TRGS 554) vorgeschrieben. Im Zuge dessen wurden etwa 1500 Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltersystemen nachgerüstet. Ab 2004 wurden die Anforderungen an Partikelfiltersystemen an die des VERT-Standards angenähert.

Dänemark

Dänemark orientiert sich ebenfalls an den VERT-Kriterien für Partikelfilternachschrüstsysteme. In einer Studie¹⁶ wurde von 5000 Toten pro Jahr aufgrund von Feinstaubemissionsbelastung in Dänemark ausgegangen, wobei durch den Einsatz von Dieselpartikelfiltern im Straßenverkehr und bei Baumaschinen 1200 Todesfälle vermeidbar wären. Im Zuge des daraufhin in Kopenhagen gestarteten Odense Programms wurden in dessen zweiter Phase ab Juli 2004 alle Nutzfahrzeuge im Kommunalendienst mit Partikelfiltern nachgerüstet. Seit Juli 2005 müssen alle in den Umweltzonen Kopenhagens verkehrenden Nutzfahrzeuge mit Partikelfiltern ausgerüstet sein. Weitere Städte in Dänemark sollen diesem Modell folgen.

Schweden

Wie schon beschrieben, nimmt Schweden eine Vorreiterrolle bei der Feinstaubbekämpfung ein. Mit der erstmaligen Errichtung von Umweltzonen im Jahr 1996 startete Schwedens Offensive. Schwedens Umweltzonen, zu denen Stockholm, Göteborg, Malmö und Lund zählen, gelten für den On- sowie Off-Road Bereich, zu dem auch die Baumaschinen zählen. Nur konforme Fahrzeuge und Maschinen dürfen in den Umweltzonen betrieben werden. Die Anforderungen an Partikelfiltersystemen entsprechen seit 2005 den VERT Kriterien. Auch für den Untertagbau sind in Schweden Dieselpartikelfilter vorgeschrieben.

Großbritannien

Großbritannien förderte mittels des „Energy Saving Trust (EST)“¹⁷ von 2000 bis 2005 Dieselpartikelnachschrüstsysteme mit bis zu 100 Prozent der Kosten. Die Förderungen beliefen sich dabei insgesamt auf ungefähr 30 Millionen britische Pfund. Besondere Anstrengungen werden in London unternommen, wo auch die Bauwirtschaft als Feinstaubverursacher erkannt wurde. London ist momentan jedoch die einzige Umweltzone in Großbritannien. Von Londons Bürgermeister wurde gemeinsam mit Londons Gemeinden im Jahr 2002 die „Mayor's Air Quality Strategy“¹⁸ eingeführt. Im Zuge dessen (Policy 22) wurde auch der „London Code of Practice“¹⁹ entwickelt, welcher auf die Emissionen von Baustellen und

¹⁵ Siehe: http://www.baua.de/nn_16758/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-554.pdf

¹⁶ Siehe: [http://www.subtrans.cl/subtrans/doc/seminario3cv_TTM%20-%201%20-%20Experience%20Worldwide%20\(Andreas%20Mayer\).pdf](http://www.subtrans.cl/subtrans/doc/seminario3cv_TTM%20-%201%20-%20Experience%20Worldwide%20(Andreas%20Mayer).pdf)

¹⁷ Siehe: www.energysavingtrust.org.uk/

¹⁸ Siehe www.london.gov.uk/approot/mayor/environment/air_quality/index.jsp.

¹⁹ Siehe http://www.london.gov.uk/mayor/environment/air_quality/docs/construction-dust-bpg.pdf

deren Vermeidung abzielt. Kapitel 7.2. dieser Leitlinie beinhaltet die Anforderungen an die eingesetzten Off-Road Maschinen. Als gezielte Maßnahme gegen Feinstaubemissionen wird die Verwendung von schwefelarmen Dieseldieselkraftstoff nach EN590:2004 gefordert. Außerdem findet sich im Dokument, dass im Londoner Stadtgebiet eingesetzte Baumaschinen den aktuellen EU-Standards (97/68/EC, 2002/88/EC, 2004/26/EC) entsprechen müssen. Seit 2007 müssen Baumaschinen mit einer Leistung, die größer als 37kW ist, mit Partikelfiltern nachgerüstet werden. Eine genehmigte Liste mit Nachrüstsyste-men findet sich auf der Website des Energy Saving Trust²⁰.

Italien

Seit 2007 gibt es Förderungen für Dieselpartikelfilter bei Baumaschinen auf öffentlichen Baustellen. In Südtirol werden diese mit 30 Prozent in der Anschaffung gefördert. Generell erhalten Bieter, welche Baumaschinen mit Dieselpartikelfilter einsetzen, einen Bonus von maximal 5 Prozent des Gesamtauftragsvolumens.

Niederlande

Seit 2007 gibt es in den Niederlanden Umweltzonen in 19 großen Städten. Reglementiert ist derzeit der Verkehr von schweren Nutzfahrzeugen im On-Road Bereich, Beschränkungen für Off-Road Fahrzeuge sind in Planung.

USA

In den USA gibt es derzeit eine Vielzahl an Maßnahmen und Programmen die direkt auf die Partikelproblematik von Dieselemissionen abzielen. Diese werden auf Bundes-, Bundesstaats- und Regionalebene durchgeführt.

Auf Bundesebene ist vor allem die „U.S. EPA National Clean Diesel Campaign“²¹ von Bedeutung. Im Zuge des U.S. EPA Voluntary Diesel Retrofit Program²² der EPA, welches Teil der „U.S. EPA National Clean Diesel Campaign“²³ ist, können Hersteller ihre Partikelfiltersysteme testen lassen. Falls diese den Anforderungen der EPA entsprechen, werden sie als zertifizierte Produkte auf der Website veröffentlicht. Die „National Clean Diesel Campaign“ förderte im Jahr 2005 erstmals Projekte zur Dieselpartikelemissionsreduktion im Off-Road Bereich mit einer Million US-Dollar. Eine Übersicht der bisher geförderten Projekte findet sich auf der Website der EPA²⁴.

Im Zuge der „National Clean Diesel Campaign“ entstand der „Diesel Emissions Reduction Act“²⁵, der Förderung von Dieselpartikelfiltern nachrüstungen auf Bundesstatenebene ermög-

²⁰ Siehe: <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/roadusers/lez/approved-combined-device-list.pdf>

²¹ Siehe: <http://www.epa.gov/otaq/diesel/index.htm>.

²² Siehe: <http://www.epa.gov/otaq/retrofit/index.htm>

²³ Siehe: <http://www.epa.gov/otaq/diesel/index.htm>

²⁴ Siehe: <http://www.epa.gov/otaq/diesel/grantfundarchive.htm>

²⁵ Siehe: <http://www.dieselforum.org/policy-insider/clean-diesel-retrofit/diesel-emissions-reduction-act/>

lichen soll. Im Oktober 2007 wurde von einer nationalen Koalition aus öffentlichen Gesundheits- und Umweltorganisationen der Antrag auf Vollförderung des „Diesel Emissions Reduction Act“ mit 200 Millionen US-Dollar pro Jahr ab 2009 für 5 Jahre gestellt. Schätzungen der EPA zufolge könnten bei vollständiger Umsetzung des Programms insgesamt 70.000 Tonnen Feinstaub verhindert werden.

Auf bundesstaatlicher Ebene ist in den USA das „California Air Resources Board (ARB)“ aktiv. Unter anderem gibt es auch Aktivitäten im Off-Road beziehungsweise Baumaschinenbereich²⁶. Insgesamt ist geplant, bis zum Jahr 2010 75% der Partikelemissionen des On - und des Off -Road Verkehrs zu reduzieren. Dieser Wert steigt im Jahr 2020 auf 85% an. Es wird davon ausgegangen, dass etwa 1,2 Millionen Fahrzeuge mit entsprechenden Systemen auszurüsten sind.

Auf regionaler Ebene gibt es vor allem Initiativen in Boston und New York. Beim Boston „Big Dig“, einem großen Tunnelbauvorhaben, welches 2002 startete, wurden nur Bieter zugelassen, die den Anforderungen²⁷ des „Massachusetts Department of Environmental Protection (DEP)“ nachkamen. Darüber hinaus wurde im Zuge des Bauprojekts ein Nachrüstprogramm gestartet.

In New York City gilt seit 2004 das Local Law 77²⁸, das in Manhattan und fünf weiteren Bezirken den Einsatz von schwefelarmen Kraftstoff sowie der aktuellen „Best available Technology“, welche New York City Department of Environmental Protection (DEP) festgelegt wird. Partikelfilternachschrüstungen werden auch gefördert.

Asien

In Asien gibt es ebenfalls Bestrebungen zur Minimierung von Partikelemissionen, vor allem im urbanen Bereich. Generell problematisch in Asien ist die geringe Verfügbarkeit von schwefelarmen Dieseldieselkraftstoffen, welche Nachrüstambitionen einbremst. Erwähnenswert als Vorreiter sind dabei Tokyo, Hong Kong und Seoul.

In Tokyo wurde im Jahr 2003 das „Tokyo Retrofit Program“ gestartet. Das Tokyo Metropolitan Government²⁹ fördert bis zu 50 Prozent der Kosten für Partikelfilternachschrüstungen. Weitere Städte wie Osaka, Yokohama und Kobe sollen dem Programm folgen.

Hong Kong betreibt seit 2002 ein Nachrüstprogramm für schwere Nutzfahrzeuge. Teilweise werden Vollförderungen vergeben. Insgesamt sollen 90.000 Fahrzeuge nachgerüstet werden.

In Seoul startete erstmals 2005 ein Partikelfilternachschrüstprogramm, wobei Nachrüstungen im ersten Jahr zu 100 Prozent gefördert wurden. Insgesamt wurden seitdem ca. 220.000 schwere Nutzfahrzeuge mit Dieselpartikelfiltern nachgerüstet. Bezüglich der Kriterien für

²⁶ Siehe: <http://www.arb.ca.gov/msprog/ordiesel/ordiesel.htm>

²⁷ Siehe: <http://www.masspike.com/bigdig/background/airpollution.html>

²⁸ Siehe: <http://www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/lowsulfur.pdf>

²⁹ Siehe: <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/>

Dieselpartikelfilter Nachrüstsysteme wird eine Harmonisierung mit der VERT Liste angestrebt.

6. Kosten-Nutzen Analyse von Partikelfiltersystemen

Im vorliegenden Kapitel werden die Reduktionspotenziale von Partikelemissionen durch Partikelfilternachrüstungen bei Baumaschinen und deren Kosteneffizienz untersucht. Dazu werden die Partikelemissionen der Baumaschinen vom Jahr 2007 ohne Nachrüstung wie auch mit Nachrüstung in 7 verschiedenen Szenarien dargestellt. Für jedes Szenario erfolgte eine gezielte Kostenermittlung. Die Kosteneffizienz kann anhand der Vermeidungskosten (Euro pro Tonne vermiedener Partikelemissionen) beurteilt werden.

6.1 Flottenstruktur

Nachstehende Tabelle gibt Auskunft über Bestand, Betriebsstunden und Partikelemissionen der jeweiligen Leistungsklasse. Im Jahr 2007 umfasste der österreichische Baumaschinenpark rund 81.180 Maschinen (Dieselmotoren). Wie schon im Kapitel 4.2.1 beschrieben handelt es sich bei diesem Wert um einen aus den Ergebnissen der Fragebögen modellierten Wert. Die Modellierung ist erforderlich, da nur ein Bruchteil des Bestandes zum Verkehr zugelassen und somit in Statistiken beschrieben ist. Der Großteil der Baumaschinen fällt in die Größenklassen <75 kW, in das oberste Größensegment 130-560 kW fallen rund 7% des Gesamtbestandes. Gegenteilig ist die Situation bei den jährlichen Einsatzzeiten. Die Einsatzdauer variiert stark nach Leistungsklassen. Leistungsschwache Geräte sind im Durchschnitt weniger lang im Einsatz als Großgeräte. Die genaue Einteilung des Bestandes und der Betriebsstunden in Leistungsklassen wurde von der Baumaschinenstudie des Schweizer BAFU übernommen, da in der österreichischen Luftschadstoffinventur eine gröbere Einteilung erfolgt (<80 kW, > 80 kW) (BAFU 2003). In der letzten Spalte sind die Partikelemissionen pro Größenklasse für das Jahr 2007 angeführt.

Tabelle 6-1 Flottendaten

2007	Bestand	Betriebsstunden/Klasse	PM Emissionen [t]
<18kW	20.536	195	28
18-37kW	22.820	344	76
37-75kW	23.491	400	138
75-130kW	8.955	518	98
130-560kW	5.377	623	111

In Abb. 6-1 wurden Bestands- und Emissionsdaten pro Größenklasse gegenübergestellt. Zu bemerken ist, dass rund 6% der Partikelemissionen auf die Maschinen der Größenklasse <18 kW fallen. Der Anteil der Maschinen dieser Größenklasse am Gesamtbestand beträgt beinahe 25%. Dies ist auf die geringen Einsatzzeiten der Geräte dieser Größenklasse zurückzuführen. Umgekehrt ist die Situation bei den großen Maschinen. Hier entfallen mehr als 25% der gesamten Partikelemissionen auf die Maschinen der Kategorie 130 – 560 kW. Obwohl der Anteil der Maschinen dieser Kategorie nur rund 7% des Gesamtbestandes darstellt. Relativ ausgeglichen ist das Verhältnis bei der Größenklasse 37 – 75 kW. Auf rund 29% des Gesamtbestandes fallen rund 31% der Gesamtemissionen.

Abb. 6-1 Bestand und Partikelemissionen nach Größenklassen 2007

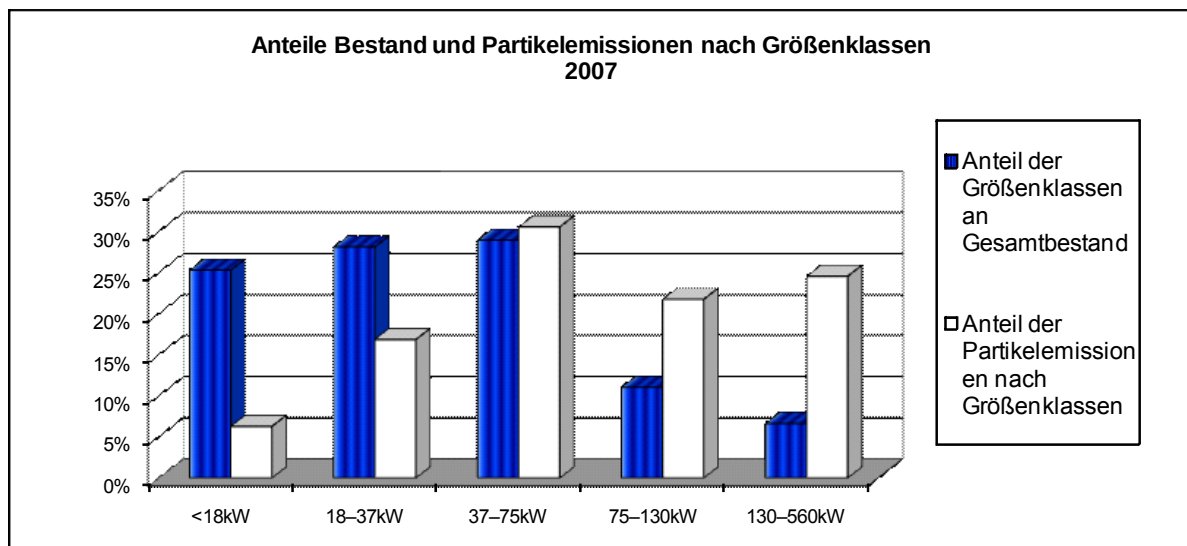


Tabelle 6-2 Bestand und Partikelemissionen nach Größenklassen 2007

	Anteil an Bestand	Anteil an Emissionen
<18kW	25%	6%
18-37kW	28%	17%
37-75kW	29%	31%
75-130kW	11%	22%
130-560kW	7%	25%

6.2 Filterkosten

Zur Durchführung einer Kosten/Nutzen – Analyse bedarf es einer ausführlichen Recherche bezüglich Partikelfilterkosten. Zu diesem Zweck erschien es sinnvoll, direkt mit verschiedenen Partikelfilterherstellern in Verbindung zu treten. Es wurden alle Hersteller, die in der VERT Liste angeführt sind kontaktiert:

Tabelle 6-3 Datenanfragebogen an die Hersteller

Kostenstruktur von Partikelfiltern bei Baumaschinen						
Typ	Segment (kW)	<18	18-37	37-75	75-130	130-560
	Gewichtetes Mittel (kW)	15	28	55	100	250
	Lastfaktor (-)	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Fixkosten	Kaufpreis (€/Maschine)					
	Einbaukosten (€/Maschine)					
variable Kosten	Wartungskosten (Waschen) (€/xxxBh)					
	Regenerationskosten [€/xxx Bh)					
	Messkontrollen (€/a*Maschine)					
	Treibstoffmehrverbrauch (%)					
	Ersatzkosten (€/xxx BH)					
Zusatzinfo	Abscheidgrad Partikelmasse (%)					

Die Kosten gliedern sich in Fixkosten (Kaufpreis und Einbaukosten), variable Kosten pro Betriebsstunde (Wartungskosten, Regenerationskosten, etc.) und Fixkosten im Betrieb (Messkontrollen sofern erforderlich) je Leistungsklasse. Als Zusatzinfo wurde um Angaben bezüglich Abscheidegrad gebeten.

Es wurden 32 Hersteller kontaktiert – die Rücklaufquote betrug 30%. Nach Auswertung der Daten wurden die Angaben von 8 Herstellern weiterverwendet.

Tabelle 6-4 Liste Herstelleranfragen

HERSTELLER	ADRESSE
AIRMEEEX	CH-5408 Ennetbaden
ARVINMERITOR	D-30459 Hannover
BAUMÜLLER	D-67433 Neustadt / Weinstrasse
	CH-8502 Frauenfeld
BERSY	F- 69210 SAIN BEL
	CH-8152 Glattbrugg
DCL	Ontario, Canada, L4K 1B2
	CH-8105 Watt
DEUTZ	D-51057 Köln
	CH-6331 Hünenberg
DINEX	DK-5500 Middelfart
	CH-8320 Fehraltorf
	CH-3302 Moosseedorf
	CH-5332 Rekingen
ECS	S-20039 Malmö – Schweden
	CH-8502 Frauenfeld
EHC	S-43330 Partille, Schweden
	3027 Bern
EMINOX	Lincolnshire DN21 2TU UK
	CH-9501 Wil
ENDEAVOUR	I-44030 Fossalta / Ferrara
ENGELHARD	D-30173 Hannover
ENWA	CH-8006 Zürich
ETB	D-28279 Bremen
	CH-3067 Boll
GAT	D-99817 Hörselberg-Eisennach
GREENTOP	D-61267 Neu-Anspach
HJS / DES	D-58706 Menden
	CH-4950 Huttwil

HUG	CH-8352 Räterschen
	CH-5616 Meisterschwanden
	CH-8558 Raperwilen
HUSS	D-90411 Nürnberg
INTECO	CH-1131 Tolochenaz
JOHNSON MATTHEY	D-65843 Sulzbach
	CH-8105 Regensdorf
	CH-8303 Bassersdorf
	CH-3627 Heimberg
	CH-8330 Pfäffikon
PIRELLI AMBIENTE	I-20016 Perso (MI)
TSH	D-79801 Hohentengen
	CH-8570 Weinfelden

6.2.1 Überblick Filterkosten

Die Auswertung der Herstellerangaben ergab, dass es große Preisunterschiede je Hersteller gibt. Die Unterschiede ergeben sich sowohl bei den Fixkosten als auch bei den variablen Kosten im Betrieb. Die tatsächlich anfallenden Kosten für den Einsatz von Partikelfiltern setzen sich aus den Fixkosten sowie den variablen Kosten zusammen und sind damit abhängig von der durchschnittlichen Einsatzdauer sowie der Lebensdauer des umgerüsteten Gerätes bzw. des Partikelfilters. Für die Ermittlung der Mindest- bzw. Maximalkosten wurden in der Berechnung durchschnittliche Einsatzzeiten (Betriebsstunden pro Jahr) je Leistungsklasse angenommen (siehe Tabelle 6-1).

Für die durchschnittliche Lebensdauer wurden die Fälle 5 bzw. 10 Jahre getrennt untersucht – bei 10-jähriger Lebensdauer sind die jährlichen Kosten aufgrund der auf einen längeren Zeitraum verteilten Fixkosten geringer, die variablen Kosten bekommen in diesem Fall ein stärkeres Gewicht.

Beispielsweise setzen sich bei einem 5-jährigen Durchrechnungszeitraum die jährlichen Kosten aus den während eines Jahres anfallenden variablen Kosten und einem Fünftel der Fixkosten zusammen.

Im Einzelfall ist es vom Verwendungszweck des Gerätes abhängig, mit welchem Durchrechnungszeitraum die bessere Abschätzung erreicht wird.

Geringste und höchste jährliche Kosten für die Umrüstung bzw. den Betrieb eines Partikelfilters können um mehr als einen Faktor 2 auseinander liegen. Es empfiehlt sich daher vor der Anschaffung eine entsprechende Marktanalyse – unter Berücksichtigung der Leistungsklasse des Gerätes sowie der beabsichtigten durchschnittliche Einsatzdauer – durchzuführen.

Tabelle 6-5 Jährliche Kosten für Umrüstung und Betrieb (Fix- und variable Kosten), günstigster Anbieter

Segment (kW)	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
<18	812	512
18-37	1.120	690
37-75	1.198	738
75-130	1.436	876
130-560	1.809	1.079

Tabelle 6-6 Jährliche Kosten für Umrüstung und Betrieb (Fix- und variable Kosten), teuerster Anbieter

Segment (kW)	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
<18	1.560	865
18-37	1.758	1.049
37-75	1.973	1.203
75-130	3.346	2.196
130-560	4.175	2.713

6.2.2 Nachrüstungsszenarien

6.2.2.1 Definition Szenarien

Die Partikelemissionen sowie die Nachrüstungskosten werden für das Jahr 2007 für 7 Szenarien berechnet. Die Szenarien unterscheiden sich bezüglich der Nachrüstung der Baumaschinen mit Partikelfiltern von verschiedenen Leistungsklassen und Altersklassen.

Folgende Nachrüstungsszenarien wurden definiert:

Tabelle 6-7 Nachrüstungsszenarien

0	<i>Ausgangsbasis, keine Umrüstung, keine Emissionseinsparung</i>
1	<i>20% aller Leistungsklassen umrüsten</i>
2	<i>Nachrüstung über 18 kW</i>
3	<i>Nachrüstung über 37 kW</i>
4	<i>Nachrüstung über 75 kW</i>
5	<i>Nachrüstung unter 37kW</i>
6	<i>Nachrüstung zwischen 37 und 75 kW</i>
7	<i>Nachrüstung Maschinenbestand älter 1999 (Einführung Stage I)</i>

6.2.2.2 Emissionsreduktion für Emissionen im Jahr 2007 nach Szenarien

Die Emissionsergebnisse der Umrüstungen nach den zuvor beschriebenen Szenarien werden in den nächsten beiden Abbildungen dargestellt. Im Jahr 2007 beträgt die Gesamtemissionsmenge der Baumaschinen ohne Partikelfilternachrüstung rund 452 Tonnen. Die Balken stellen die Restemissionsmengen nach erfolgreicher Umrüstung im jeweiligen Szenario dar.

Mit dem Szenario 1 (Umrüstung 20% aller Leistungsklassen) kann die Gesamtemissionsmenge von rund 452 Tonnen auf rund 362 Tonnen reduziert werden.

Im Szenario 2 (Nachrüstung über 18 kW) werden rund 75 % des Maschinenbestandes umgerüstet – die Reduktionsmenge beläuft sich auf rund 419 Tonnen (-93%).

Mit dem Szenario 3 (Nachrüstung über 37 kW) könnten rund 76% der gesamten Partikelemissionen reduziert werden. Dafür müssten rund 37.800 Maschinen nachgerüstet werden.

Im Szenario 4 (Nachrüstung über 75 kW) würde die Emissionsminderung rund 50% betragen, wobei nur rund 17% des Bestandes nachgerüstet werden müsste.

Mit dem Szenario 5 (Nachrüstung unter 37 kW) ist die Emissionsminderung relativ gering (-23%). Der Anteil der umzurüstenden Fahrzeuge beläuft sich auf rund 43.400.

Im Szenario 6 (Nachrüstung zwischen 37 und 75 kW) würde die Emissionsminderung rund 30% betragen (Umrüstung von rund 23.500 Maschinen).

Im Szenario 7 (Nachrüstung Maschinenbestand älter 1999, Einführung Stage I) würde die Emissionsminderung rund 38% betragen (Umrüstung von rund 26.500 Maschinen).

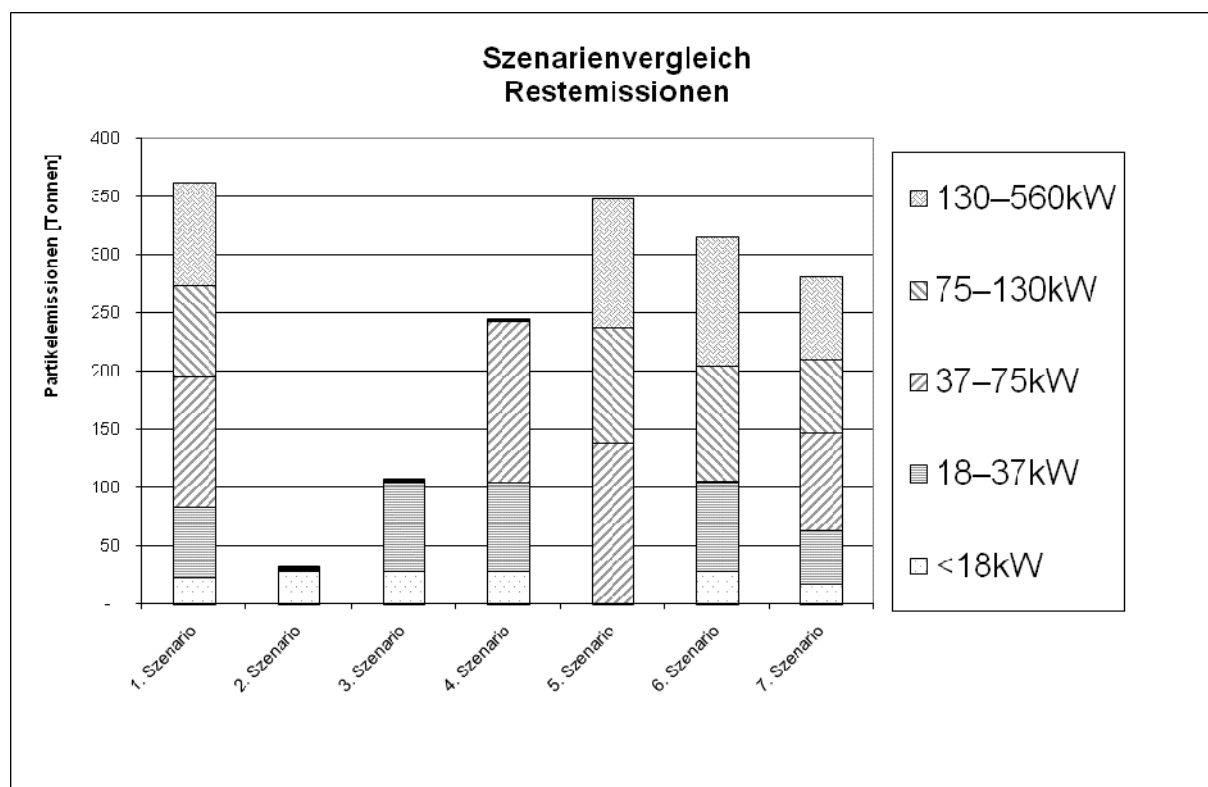
Anmerkung zu Szenario 7:

Nachstehende Tabelle gibt Auskunft über die Anteile der Baumaschinen die vor 1999 zugelassen (Einführung Stage I) sind an Gesamtbestand, Einsatzzeiten bzw. Partikelemissionen. Rund 32% der Kleingeräte (<75kW) wurden vor 1999 zugelassen. Auf diese entfallen rund 42% der Partikelemissionen wobei der Anteil der Einsatzzeiten bei rund 23% liegt.

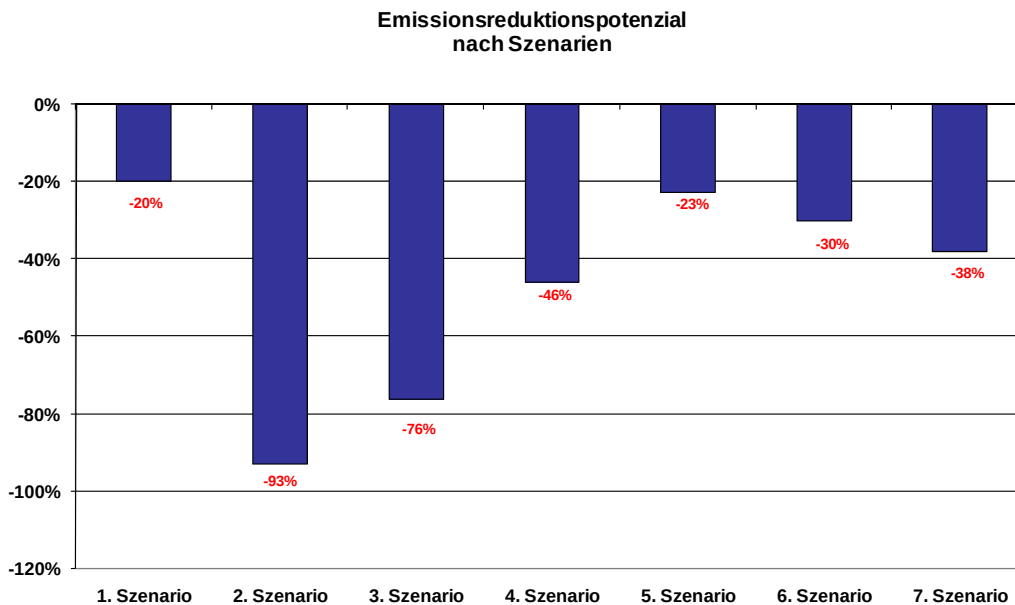
Bei den Großgeräten (>75kW) ist der Bestand an Altgeräten mit 39% noch höher als bei den Kleingeräten. Der Anteil an Partikelemissionen (34%) ist trotz geringer Einsatzzeiten relativ hoch.

Kleingeräte (<75kW)	Anteil an Gesamtbestand <75kW	Anteil an Einsatzzeit	Anteil an PM Emissionen
Anteil BM vor Einführung Stage I (1999)	32%	23%	42%
Großgeräte (>75kW)	Anteil an Gesamtbestand >75kW	Anteil an Einsatzzeit	Anteil an PM Emissionen
Anteil BM vor Einführung Stage I (1999)	39%	11%	34%

Die folgende Abbildung veranschaulicht nochmals das Emissionsreduktionspotential der einzelnen Szenarien.

Abb. 6-2 Restemissionsmengen nach Nachrüstungsszenarien**Tabelle 6-8 Restemissionsmengen gemäß Nachrüstungsszenarien**

Restemissions- menge [t]	Ausgangsba- sis	1. Szenario	2. Szenario	3. Szenario	4. Szenario	5. Szenario	6. Szenario	7. Szenario
<18kW	28	23	28	28	28	0	28	17
18–37kW	76	61	1	76	76	1	76	46
37–75kW	138	111	1	1	138	138	1	84
75–130kW	98	79	1	1	1	98	98	63
130–560kW	111	89	1	1	1	111	111	71

Abb. 6-3 Emissionsreduktionspotenzial nach Szenarien**6.2.2.3 Kostenvergleich der Szenarien**

Nachstehende Tabelle gibt Auskunft über die Nachrüstungskosten je Szenario (Filtereinbau und variable Kosten). In der zweiten Spalte ist die umzurüstende Maschinenmenge für das jeweilige Szenario angeführt. Es wurden sowohl die Gesamtkosten mit einem 5 – jährigen Durchsetzungszeitraum als auch mit einem 10 – jährigen Durchsetzungszeitraum berechnet. Zusätzlich wurden die Berechnungen wieder mit dem vergleichsweise günstigsten und dem teuersten Anbieter durchgeführt. Wie bei den Einzelkosten ist auch bei der Gesamtrechnung der Faktor 2 zwischen günstigstem und teuerstem Anbieter ersichtlich (Detailkosten für Leistungsklassen im jeweiligen Szenario sind im Anhang zu finden).

Tabelle 6-9 Umrüstungskosten nach Szenarien in Mio. €

Szenario	Anzahl der umzurüstenden Maschinen	Günstigster Anbieter		Teuerster Anbieter	
		Kosten p.a. über 5 Jahre [Mio. €]	Kosten p.a. über 10 Jahre [Mio. €]	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
1	16.236	18,6	11,5	34,2	13,2
2	60.643	76,3	46,7	138,9	86,4
3	37.823	50,7	31,0	98,8	62,5
4	14.332	22,6	13,6	52,4	34,3
5	43.356	42,2	26,3	72,1	41,7
6	23.491	28,1	17,3	46,3	28,3
7	26.535	30,2	18,6	55,3	33,6

Relation der Umrüstkosten zu Produktionswert und Wertschöpfung

Im Jahr 2007 betrug der Produktionswert³⁰ in Österreich im Wirtschaftssektor Bauwesen rund 37 Milliarden €. Werden die Kosten der einzelnen Szenarien in Beziehung mit dem Produktionswert des Jahres 2007 im Sektor 45 nach ÖNACE³¹ (Bauwesen) gesetzt, so ergeben sich folgende Anteile.

Tabelle 6-10 Kosten der Szenarien in Beziehung zum Produktionswert der Bauwirtschaft im Jahr 2007

Günstigster Anbieter			Teuerster Anbieter	
Szenario	Anteil am Produktionswert* in Prozent		Anteil am Produktionswert* in Prozent	
	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 5 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 10 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 5 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 10 Jahre
1	0,05%	0,03%	0,09%	0,04%
2	0,20%	0,12%	0,37%	0,23%
3	0,14%	0,08%	0,26%	0,17%
4	0,06%	0,04%	0,14%	0,09%
5	0,11%	0,07%	0,19%	0,11%
6	0,07%	0,05%	0,12%	0,08%
7	0,08%	0,05%	0,15%	0,09%

* Quelle: Statistik Austria: ISIS Datenbank, Abfrage 11/08

Aus Tabelle 6-10 ist ersichtlich, dass der Anteil der Kosten der Szenarien mit den günstigsten Anbietenden, bezogen auf den Produktionswert im Sektor Bauwesen aus dem Jahr 2007, in den Szenarien 1, 4, 6 und 7 immer unter 0,10 % liegen. Einzig in den Szenarien 2, 3 und 5 bei der Betrachtung der Kosten über 5 Jahre, liegen die Anteile bei über 0,10 %.

Bei den teuersten Anbietenden wird nur im Szenario 1 die 0,10% nicht überschritten bei der Betrachtung auf 5 Jahre. Bei der Betrachtung auf 10 Jahre liegen die Kostenanteile der Szenarien 1, 4, 6 und 7 unter 0,10%.

³⁰ Der Bruttoproduktionswert entspricht der gesamten Produktion. Dazu zählen der Umsatz mit allen Erzeugnissen aus eigener Produktion, der Wert der für den internen betrieblichen Gebrauch bestimmten Erzeugnisse und der Wert eventueller Lagerveränderungen. Der Bauproduktionswert konnte nicht herangezogen werden, da dieser für das Jahr 2006 bei Statistik Austria nicht zur Verfügung stand.

³¹ ÖNACE steht für Österreichische Wirtschaftsaktivitäten Klassifikation, NACE ("Nomenclature générale des activités économiques dans les communautés européennes") = Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft ÖNACE = österreichische Fassung der NACE.

Analog ergeben sich folgende Anteile wenn die Kosten der einzelnen Szenarien in Beziehung zur Bruttowertschöpfung³² aus dem Jahr 2007 im Sektor Bauwesen gesetzt werden (siehe Tabelle 6-11). Im Jahr 2007 betrug die Bruttowertschöpfung in Österreich mehr als 17 Milliarden €. Dementsprechend höher sind nun die Kostenanteile verglichen zu den Kostenanteilen des Bruttoproduktionswerts. Im Durchschnitt (über alle Szenarien) liegt der Kostenanteil bei den teuersten und den günstigsten Anbietenden in der Kostenbetrachtung über 5 Jahre bei 0,32 %. Bei der Kostenbetrachtung über 10 Jahre liegt der Anteil zur Bruttowertschöpfung bei durchschnittlich (über alle Szenarien) 0,19%.

Tabelle 6-11 Kosten der Szenarien in Beziehung zur Bruttowertschöpfung der Bauwirtschaft im Jahr 2007

Günstigster Anbieter			Teuerster Anbieter	
Szenario	Anteil an der Bruttowertschöpfung* in Prozent		Anteil an der Bruttowertschöpfung* in Prozent	
	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 5 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 10 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 5 Jahre	Anteil der Gesamtkosten p.a. über 10 Jahre
1	0,11%	0,07%	0,20%	0,08%
2	0,44%	0,27%	0,80%	0,50%
3	0,29%	0,18%	0,57%	0,36%
4	0,13%	0,08%	0,30%	0,20%
5	0,24%	0,15%	0,42%	0,24%
6	0,16%	0,10%	0,27%	0,16%
7	0,17%	0,11%	0,32%	0,19%

* Quelle: Statistik Austria: ISIS Datenbank, Abfrage 11/08

6.2.3 Kosteneffizienz

Die folgende Tabelle zeigt die Kosteneffizienz der Umrüstung nach Leistungsklasse, ausgedrückt in Euro pro vermiedene Tonne Partikelemissionen. Sowohl beim günstigsten als auch beim teuersten Anbieter ist das Nachrüsten von Maschinen mit Partikelfiltern unter 37 kW bei beiden Durchsetzungszeiträumen vergleichsweise wenig effizient. Idealerweise sollten die großen Maschinen umgerüstet werden, da die Einsatzzeiten viel höher sind und die Ausfallswahrscheinlichkeiten viel geringer sind als bei kleinen Maschinen. Somit ist die Effizienz der eingesetzten Mittel beim Umrüsten von leistungsstarken Maschinen am höchsten.

³² Die Bruttowertschöpfung umfasst die innerhalb eines abgegrenzten Wirtschaftsgebietes erbrachte und in Marktpreisen ausgedrückte wirtschaftliche Leistung (Produktionswert abzüglich der Vorleistungen) der einzelnen Wirtschaftszweige oder der Volkswirtschaft insgesamt.

Tabelle 6-12 Kosteneffizienz nach Leistungsklassen (1000 € pro Tonne PM – Vermeidung)

Leistungsklasse	Günstigster Anbieter (p.a)		Teuerster Anbieter (p.a.)	
	Kosten/Tonne über 5 Jahre	Kosten/Tonne über 10 Jahre	Kosten/Tonne über 5 Jahre	Kosten/Tonne über 10 Jahre
<18kW	594	374	1140	632
18–37kW	339	209	532	317
37–75kW	206	127	339	207
75–130kW	132	81	308	202
130–560kW	89	53	204	133

Zusätzlich wurde die Effizienz der Nachrüstscenarien untersucht. Die geringsten Kosten pro vermiedene Tonne Partikelemissionen würde mit dem Szenario 4 erreicht werden (Nachrüstung aller Maschinen über 75 kW). Am ineffizientesten wäre die Ausführung des Szenarios 5 (Nachrüstung unter 37 kW), gefolgt von den Szenarien 1 (20% aller Leistungsklassen nachrüsten) und 6 (Nachrüstung zwischen 35 – 75 kW).

Tabelle 6-13 Kosteneffizienz nach Szenarien (1000 € pro Tonne PM – Vermeidung)

Leistungsklasse	Günstigster Anbieter (p.a)		Teuerster Anbieter (p.a.)	
	Kosten/Tonne über 5 Jahre	Kosten/Tonne über 10 Jahre	Kosten/Tonne über 5 Jahre	Kosten/Tonne über 10 Jahre
1. Szenario	208	128	382	233
2. Szenario	182	111	331	206
3. Szenario	147	90	287	182
4. Szenario	109	66	253	165
5. Szenario	408	254	697	403
6. Szenario	206	127	339	207
7. Szenario	177	109	324	197

Vergleich Kosteneffizienz Baumaschinen - Straße

Abschließend wurde ein Kosteneffizienzvergleich zwischen Baumaschinen, schweren Nutzfahrzeugen und Personenkraftwagen durchgeführt. Hierbei wurde auf die Vergleichbarkeit der Kosten zwischen geschlossenen Systemen (Baumaschinen bzw. Schwere Nutzfahrzeuge) und offenen Systemen (Nachrüstsysteme PKW) geachtet.

Annahmen PKW (PM Kat - offenes System)

Nach Angaben des ARBÖ bzw. des Herstellers Remus liegen die Kosten für eine Partikelfilternachschrüstung (offenes System) bei PKW zwischen 500 € und 700 € [ARBÖ 2006]. Für die Kostenberechnung wurde der Durchschnittspreis von 660 Euro angenommen. Im Jahr 2007 wären bei einer vollständigen Nachrüstung rund 2,2 Mio. Diesel PKW (Bestand 2007) betroffen. Bei Nachrüstkosten von 660 € (inkl. MwSt.) pro Fahrzeug liegen die Gesamtkosten bei rund 1,5 Mrd. Euro.

Studien zufolge, liegt der bekannte und vormalig geförderte Pankl-Partikelkatalysator im dzt. gültigen NEFZ (neuer europäischer Fahrzyklus – derzeit gültiger Typprüfzyklus) bei einem Abscheidegrad von 31,3% (Umweltbundesamt Deutschland, TTM Schweiz 2007). Folgedessen wurde dieser Wert für die Vergleichsberechnung herangezogen. Unter der Annahme eines 30%-igen Abscheidegrades und eines 5-jährigen Durchsetzungszeitraumes kann eine Kosteneffizienz in der Höhe von rund 640.000 Euro pro vermiedene Tonne Partikelemissionen abgeschätzt werden. Bei einem 10-jährigen Durchsetzungszeitraum reduzieren sich die jährlichen Kosten, da die Fixkosten für die Anschaffung einem längeren Durchrechnungszeitraum zugeordnet werden.

Zusätzlich angeführt wurde die Kostensituation bei einem erhöhten Abscheidegrad von rund 50% infolge möglicher Technologieverbesserungen.

Bei einem Abscheidegrad von 50% und einem 5-jährigen Durchsetzungszeitraum kann eine Kosteneffizienz in der Höhe von rund 386.000 Euro pro vermiedene Tonne Partikelemissionen erzielt werden. Bei einem 10-jährigen Durchsetzungszeitraum reduzieren sich wieder die jährlichen Kosten.

Abb. 6-4 Kosteneffizienz PKW, Durchsetzungszeitraum 5 bzw. 10 Jahre

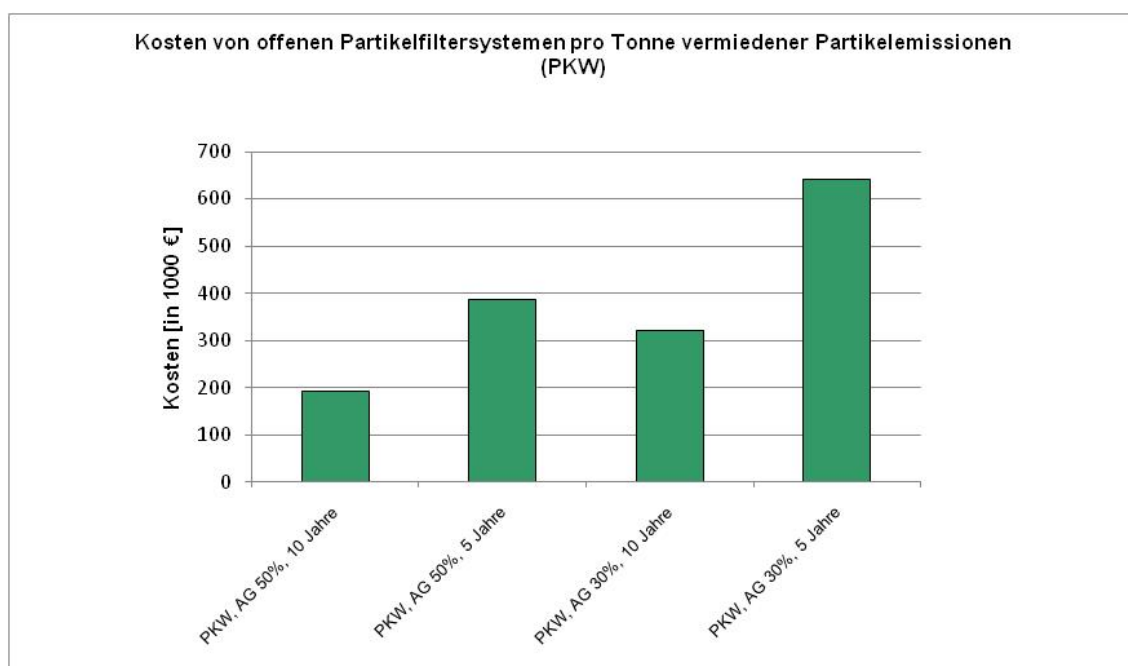


Tabelle 6-14 Kosteneffizienz PKW, Durchsetzungszeitraum 5 bzw. 10 Jahre

	Kosten pro Tonne
PKW, AG 50%, 10 Jahre	193
PKW, AG 50%, 5 Jahre	386
PKW, AG 30%, 10 Jahre	321
PKW, AG 30%, 5 Jahre	643

Zeichenerklärung: AG: Abscheidegrad

Annahmen Schwere Nutzfahrzeuge (PM Filter – geschlossenes System)

Partikelfiltersysteme für schwere Nutzfahrzeuge sind in der Nachrüstung deutlich teurer als für Personenkraftwagen. Wie bei den Baumaschinen variieren die Preise von Nachrüstsystemen bei schweren Nutzfahrzeugen sehr stark.

Für die Kostenkalkulation wurde ein Durchschnittspreis von rund 12.000 Euro angenommen (Durchschnittspreis über alle Herstellerantworten).

Unter der Annahme eines 99%-igen Abscheidegrades und eines 5-jährigen Durchsetzungszeitraumes kann eine Kosteneffizienz in der Höhe von rund 226.000 Euro pro vermiedene Tonne Partikelemissionen abgeschätzt werden. Bei einem 10-jährigen Durchsetzungszeitraum kostet die vermiedene Tonne Partikelemissionen rund 113.000 Euro.

Durch die hohe spezifische Emissionsminderung der Nachrüstung, das hohe Emissionsniveau im Vergleich zum PKW und die höhere spezifische Jahresfahrleistung ergibt sich für diese Fahrzeuge eine bessere Kosteneffizienz als bei der Nachrüstung von PKW.

Abb. 6-5 Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 5 Jahre [in 1000 €]

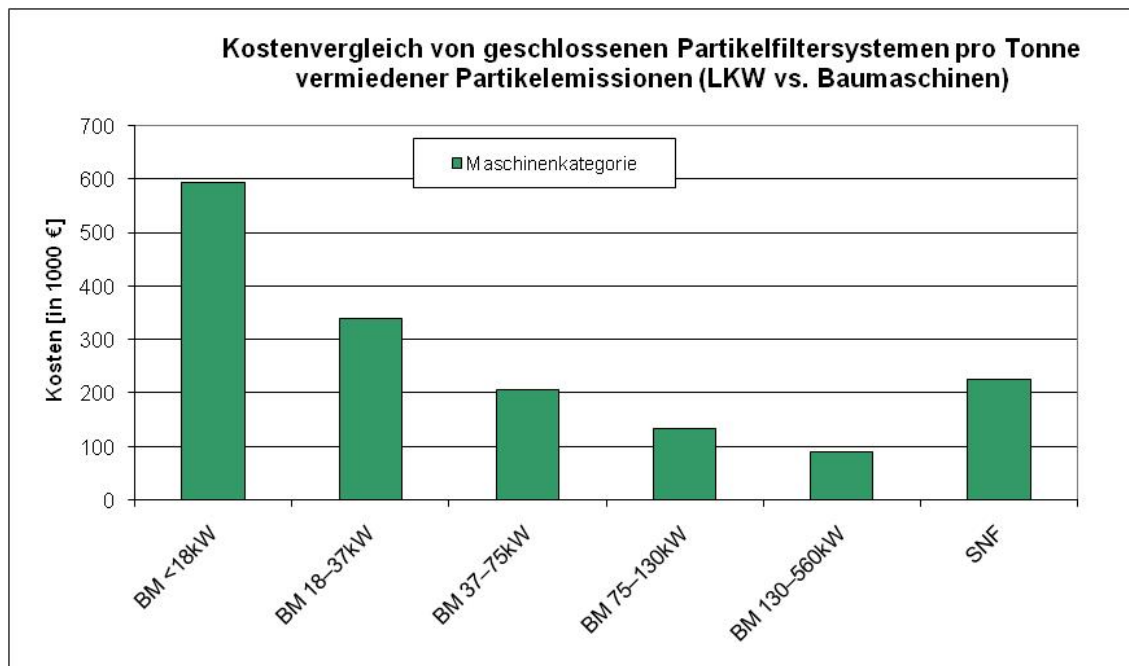


Tabelle 6-15 Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 5 Jahre [in 1000 €]

	Kosten pro Tonne
BM <18kW	594
BM 18-37kW	339
BM 37-75kW	206
BM 75-130kW	132
BM 130-560kW	89
SNF	226

Zeichenerklärung: BM: Baumaschinen, SNF: Schweres Nutzfahrzeug, AG: Abscheidegrad

Abb. 6-6 Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 10 Jahre [in 1000 €]

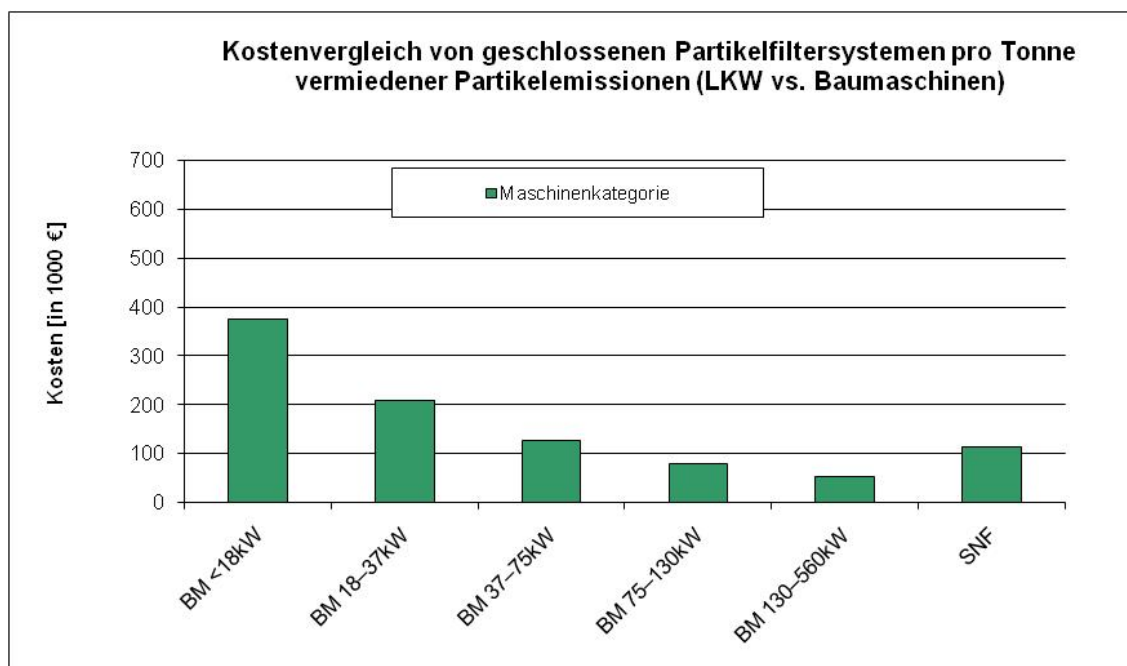


Tabelle 6-16 Kosteneffizienz Baumaschinen vs. schwere Nutzfahrzeuge (günstigster Anbieter), Durchsetzungszeitraum 10 Jahre [in 1000 €]

	Kosten pro Tonne
BM <18kW	374
BM 18-37kW	209
BM 37-75kW	127
BM 75-130kW	81
BM 130-560kW	53
SNF	113

Zeichenerklärung: BM: Baumaschinen, SNF: Schweres Nutzfahrzeug, AG: Abscheidegrad

Fazit Nachrüstung

Grundsätzlich erfolgt die Flottenerneuerung bei schweren Nutzfahrzeugen schneller als bei Baumaschinen. Zusätzlich sind neue Lastkraftwagen serienmäßig mit Partikelnachbehandlungssystemen ausgestattet, wodurch in diesem Segment automatisch eine Durchsetzung mit Nachbehandlungssystemen erfolgt.

Wie in Kapitel 6.2.2.2 bereits beschrieben, entfallen rund 35% der Partikelemissionen der Großgeräte (>75 kW) auf jene Baumaschinen, die vor 1999 (Einführung Stage I) zugelassen sind. Der Anteil der Einsatzzeiten dieser Altgeräte liegt jedoch nur bei rund 11%.

Somit wäre es am effizientesten zuerst die leistungsstarken (>37 kW), alten Baumaschinen – sofern diese nicht durch neue Maschinen ersetzt werden - und dann die Lastkraftwagen mit Partikelfiltersystemen nachzurüsten. Das Nachrüsten von Partikelfiltersystemen bei Personenkraftwagen ist demgegenüber weniger kosteneffizient.

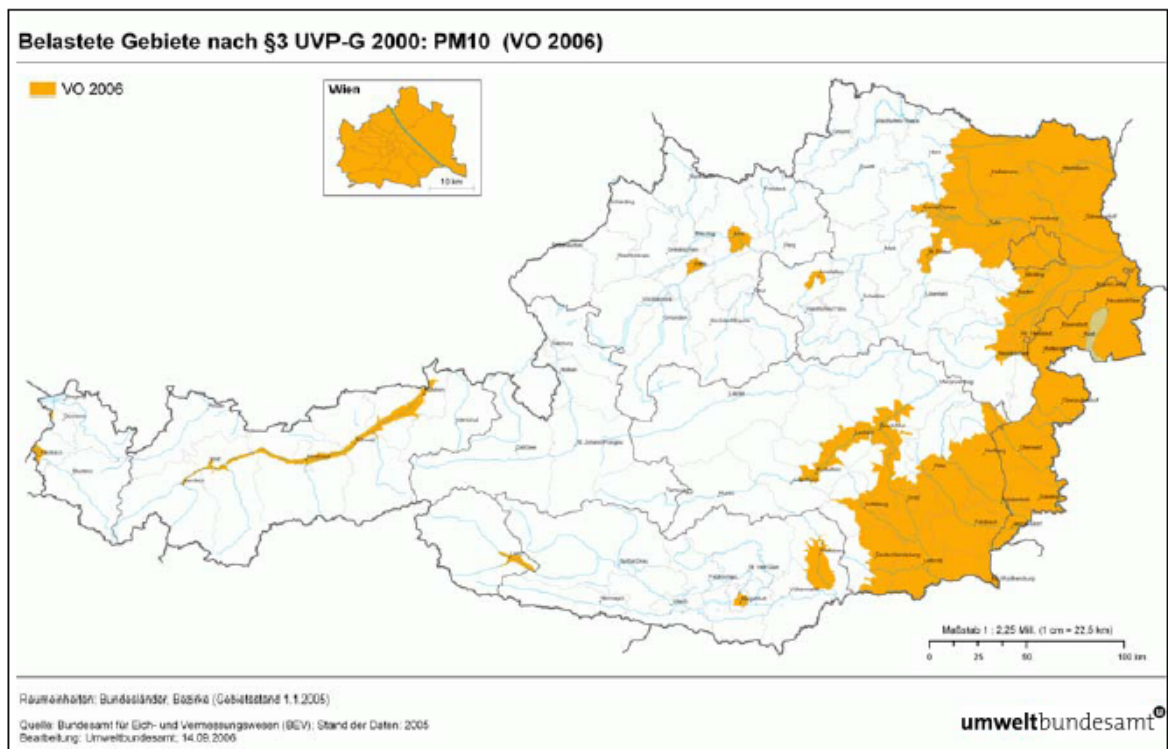
Exkurs: Belastete Gebiete für PM10

Das Grenzwertkriterium für den Tagesmittelwert ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei an einer Messstelle jährlich 35 Überschreitungen bis Ende 2004 und 30 seit 2005 zulässig waren) wird deutlich häufiger überschritten als jenes für den Grenzwert des Jahresmittelwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. So wurde im Jahr 2007 an 26 von 127 Messstellen (IG-L Messstellen) der Grenzwert für den Tagesmittelwert überschritten, vor allem in Graz und in der südlichen Steiermark sowie in Wien und Umgebung, darüber hinaus in Klagenfurt, im Lavanttal sowie in Linz, Innsbruck und Höchst.

Aufgrund dieser wiederholten Überschreitungen der Grenzwerte wurden mit Verordnung VO BGBl II 340/2006 zum UVP-G 2000 belastete Gebiete für PM10 ausgewiesen (siehe nachstehende Abbildung). Davon betroffen sind das gesamte Burgenland, das Lavanttal, Klagenfurt, die östlichen Bezirke in Niederösterreich, St. Pölten, Teile von Linz, Wels, die Südoststeiermark inkl. dem Grazer Becken und der Mur-Mürz-Furche, das Inntal, das Lienzer Becken, Feldkirch, Teile von Lustenau und Wien.

Es wäre somit empfehlenswert, dass jene Maschinen und Geräte die in diesen Gebieten - vor allem auf Großbaustellen - zum Einsatz kommen, mit Partikelfiltern ausgestattet werden. Durch die Nachrüstung der Baumaschinen mit Partikelfiltern in diesen Gebieten würde die ohnehin heikle Immissionssituation nicht zusätzlich verschlechtert werden.

Abb. 6-7 Belastete Gebiete für PM10 gemäß VO BGBl II 340/2006 bzw. VO BGBl II 262/2006 zum UVP-G 2000



7. Anhang

7.1 Pflichtenheft VERT

7.1.1 Verminderung der Partikelemission

Abscheidegrad	Neuzustand	2000 Bh
Anzahlkonzentration» im Partikel- Grössenbereich 20–300 nm ₅ (PZAG)	> 97 %	> 97 %
Abscheidegrad EC-Massenkonzentration (ECAG)	> 93 %	> 93 %

Diese Abscheidegrade müssen im Mittel von 4 Betriebspunkten des ISO 8178 Testzyklus (beinhaltend einen Testpunkt bei maximal zulässiger Raumgeschwindigkeit für das PFS) für den unbelegten Filter, für den mit Ruß und/oder Asche voll belegten Filter und für den regenerierten Filter eingehalten werden. Abweichungen sind nur in einem Testpunkt und höchstens in Höhe einer Standardabweichung des angewendeten Messverfahrens zulässig.

- Während des Regenerationsvorgangs muss ein PZAG-Wert von > 90 % eingehalten werden.
- Bei freier Beschleunigung gilt als Homologationswert für die Opazität $K < 0,12 \text{ m}^{-1}$.

7.1.2 Gesetzlich limitierte Schadstoffe

Es ist keine Erhöhung der limitierten Schadstoffe CO, HC, NO_x und PM gegenüber dem Ausgangszustand des Motors zulässig, insbesondere auch nicht während der Regeneration des PFS – in üblicher Weise bezogen auf den Zyklus-Durchschnitt.

7.1.3 Sekundäremissionen

Im gereinigten Abgas nach PFS ist gegenüber dem Ausgangszustand des Motors keine relevante Erhöhung von Reaktionsprodukten zulässig, die Umwelt oder Gesundheit schädigen können wie insbesondere:

- Gasförmige Sekundäremissionen, insbesondere NO₂, Dioxine und Furane, PAH und Nitro-PAH.

- Schwefelsäure-Aerosole.
- Partikelförmige Sekundärmissionen (z. B. Additiv-Aschepartikel) und Mineralfaser-Emissionen in dem durch WHO definierten Größenbereich $L < 3 \mu\text{m}$; $D < 5 \mu\text{m}$.

Zudem darf das Verhältnis NO_2/NO_x , gemessen nach SNR 277205 Ziffer 5.5.1, den Wert von 30 % nicht überschreiten (gilt neu für VERT-Prüfungen ab 01.01.2008).

7.1.4 Emissionskontrolle im Feld

Bei der periodischen Kontrolle nach der Methode der freien Beschleunigung müssen die folgenden Werte des Trübungskoeffizienten K eingehalten werden:

Homologationswert	$< 0,12 \text{ m}^{-1}$
Rückweisungswert	$< 0,24 \text{ m}^{-1}$

7.1.5 Druckverlust

unbelasteter Filter	$< 50 \text{ mbar}$	Bei Abregeldrehzahl
Grenzbelastung bis Regeneration	$< 150 \text{ mbar}$	
Maximalbelastung	200 mbar (95 % Perzentil)	Im Betrieb
Alarm bei Episoden	$> 5 \text{ sec}$ über 200 mbar	

7.1.6 Additiv-Dosierung

Automatisch mit Abschaltung bei Filterbruch: Siehe spezielles Pflichtenheft³³

7.1.7 Funktionsüberwachung (Minimalforderungen)

- Elektronische Überwachung der Funktion des Filtersystems
- Alarmbildung und Aufzeichnung bei Grenzdrucküberschreitung
- Bei Additivregeneration: Abschalten der Additivierung bei Filterschaden
- Siehe spezielles Pflichtenheft

7.1.8 Geräuschdämpfung

Mindestens gleichwertig der Schalldämpferanlage vor der Nachrüstung (Nahfeldkontrolle)

³³ VERT-Eignungstest für Diesel-Partikelfilter-Systeme BAFU/Suva, interner Bericht, 2003

7.1.9 Lebensdauer, Wartung und Gewährleistung

Lebensdauer	> 5000 Bh
Gebrauchsdauer bis Reinigung	> 2000 Bh
Wartungsintervall	> 500 Bh
Gewährleistung auf Material und Funktion	> 2 Jahre oder 1000 Bh, je nachdem, welcher Fall früher eintritt

7.1.10 Kennzeichnung

Haupt- und NebenkompONENTEN eines Partikelfiltersystems müssen dauerhaft, unverwechselbar und gut sichtbar so gekennzeichnet sein, dass die Zuordnung zur Filtersystem-Familie, die Seriennummer und die für die Qualitätskontrolle erforderlichen Daten auch nach längerem Betrieb gut erkennbar sind. Die Eintragungen müssen mit den Angaben der VERT-Filterliste übereinstimmen; insbesondere ist auch die VERT- VFT3-Prüfnummer dort anzugeben.

7.1.11 Durchströmungsrichtung

Die Durchströmungsrichtung ist durch einen gut sichtbaren Pfeil zu kennzeichnen. Zudem sind bauliche Maßnahmen vorzusehen, die eine Montage des Filterelementes in umgekehrter Richtung verunmöglichen.

7.1.12 Sicherheit

Der Einbau der Filtersysteme hat in Abstimmung mit dem verantwortlichen Maschinenlieferanten so zu erfolgen, dass keine zusätzlichen Risiken entstehen. Dabei sind die Regeln des Bundesgesetzes über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten STEG (SR 819.1/819.11/819.115) einzuhalten.

7.1.13 Diagnosezugriff

Um beim eingebauten Filter eine Diagnose des Motors durch Messung der Rohemissionen (Opazität und gasförmige Schadstoffe nach Richtlinie METAS 17.3.2000) zu ermöglichen, ist im Filtergehäuse oder in der Abgasleitung vor dem Filterelement ein verschlossener Stutzen mit mindestens 40 mm Innendurchmesser vorzusehen. Für weitere Details siehe Richtlinie „Luftreinhaltung auf Baustellen“.

7.1.14 Reinigung und Entsorgung

Für die periodische Reinigung des Filterelements von Ascherückständen und die Entsorgung nach Gebrauch dürfen nur umweltschonende und erprobte Verfahren verwendet werden. Sie sind vom Hersteller bzw. Importeur des Partikelfiltersystems in den Unterlagen für den Eignungstest zu deklarieren. Die dabei anfallenden Filterrückstände gelten als Sonderabfall. Sie sind sorgfältig aufzufangen und dürfen, solange es sich um geringe Mengen handelt, zusammen mit dem Gewerbemüll in einer Kehrrichtanlage entsorgt werden. Bei größeren Mengen entscheidet die Fachstelle des Kantons.

7.1.15 Verwendung von Schalldämpfermodulen anstelle von Filterelementen

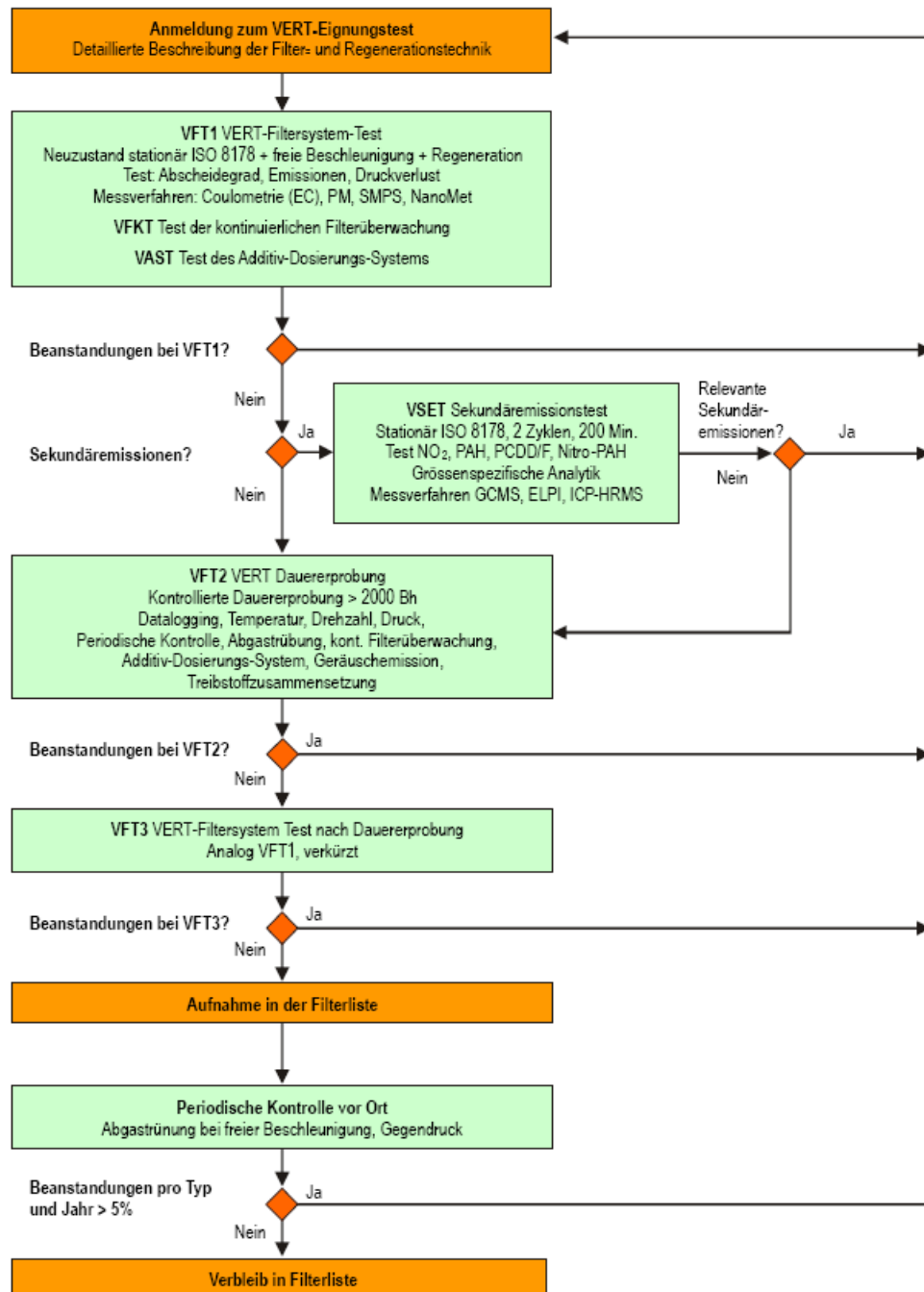
Die Verwendung von sogenannten Schalldämpfermodulen anstelle von Filterelementen ist nur mit behördlicher Genehmigung zulässig. Dabei dürfen nur solche Schalldämpfermodule eingesetzt werden, die bei der VERT-Filterprüfung mitgeprüft wurden, in den Prüfberichten beschrieben und gut sichtbar als solche gekennzeichnet sind. Damit in Zukunft bei der Kontrolle klar zwischen einem Partikelfiltersystem und einem Aufsatz mit Schalldämpfer-Modul unterschieden werden kann, sind die Schalldämpfer-Module gut sichtbar zu kennzeichnen (mit Typenschild oder mit einer Plakette mit der Aufschrift «Schalldämpfer»). Zusätzlich können diese Schalldämpfer-Module eindeutig farblich markiert werden, so dass keine Verwechslungen mehr vorkommen.

7.1.16 Technische Abnahme einer Nachrüstung

Bei jeder Nachrüstung ist ein Abnahmeprotokoll gemäß ASTRA-Merkblatt betreffend den «Nachträglichen Einbau von Partikelfiltern» vom 4.4.2006 [6] zu erstellen, das der Motorfahrzeugkontrolle als Grundlage für den Eintrag in die Fahrzeugpapiere vorzulegen ist. Das nachgerüstete Fahrzeug oder Gerät ist durch ein VERT-Label mit fortlaufender Nummer zu kennzeichnen. (Siehe dazu www.vsbm.ch)

7.2 Ablauf des Eignungstests für Partikelfiltersysteme

Abb. 7-1 schematische Darstellung der Filterprüfung



7.2.1 Partikelfiltersystem als Nachrüstung

Der Durchführung der VERT-Prüfung nach dem Ablaufschema Anhang 2 gilt für alle Partikelfiltersysteme, die für die Nachrüstung zum Einsatz kommen sollen. Als

Nachrüstung gilt der Einbau von Partikelfiltersystemen bei allen Fahrzeugen und Geräten, die ohne Partikelfilter typengeprüft wurden unabhängig davon, ob die Nachrüstung im Herstellerwerk, beim Importeur, durch eine Nachrüstfirma oder durch den Betreiber selbst erfolgt sowie unabhängig davon, ob es sich um eine neue Maschine handelt oder um eine, die bereits längere Zeit im Einsatz stand.

7.2.2 Partikelfiltersystem als Erstausrüstung

Wird ein Filtersystem nicht als Einzelkomponente für die Nachrüstung von neuen oder älteren Dieselmotoren geprüft, sondern als Systemkomponente des Erstausrüstungspaketes eines Einbaumotors oder eines Gesamtgerätes durch den Hersteller selbst eingeführt, so ist davon auszugehen, dass im Werk bereits eine sehr gründliche Langzeiterprobung durch den Motor- oder Originalgerätehersteller (OEM) erfolgt. Zudem werden alle Fragen der Schnittstellensicherung Filter/Motor und der Gewährleistung durch den Hersteller selbst abgedeckt und die elektronische Funktionskontrolle wird im Gesamtsystem berücksichtigt.

Um ein solches Filtersystem in die Filterliste aufzunehmen und damit Funktionalität und Zuverlässigkeit im Sinne der VERT-Kriterien zu bestätigen, müssen daher bis zur ersten Freigabe lediglich der VFT1 und, wenn aufgrund von katalytisch wirksamen Substanzen mit Sekundäremissionen zu rechnen ist, der VSET durchgeführt werden. Der Nachweis der Emissionsstabilität über 2000 Bh mit einem durch die Prüfstelle plombierten System mit anschließender Durchführung des VFT3 muss jedoch innerhalb eines Jahres erbracht werden. Alle VFT-Tests und der VSET-Test können im Anschluss an das europäische Zertifizierungsverfahren gemäß der Richtlinie 97/68/EG am Motorenprüfstand durchgeführt werden.

Der VFT2 kann im Rahmen der Bestimmung der Verschlechterungsfaktoren (2004/26/EG) durchgeführt werden. Die Resultate der VERT-Prüfungen müssen durch eines der Messlabore gemäß Anhang A3 oder gemäß Annex 1 des 1958 UNECE Abkommens als konform erklärt werden. Dieser besondere Ablauf des Eignungstests gilt nur für die Erstausrüstung durch den Hersteller selbst (OEM), nicht für die Nachrüstung, auch nicht die Nachrüstung durch Werksvertretungen, Importeure oder Werkstätten.

7.2.3 Nachprüfungen bei technischen Änderungen

Alle Absichten zu technischen Änderungen und PFS, die als VERT-geprüft in die Filterliste eingetragen sind, müssen vom Hersteller des PFS der Koordinationsstelle gemeldet werden. Die Koordinationsstelle muss aufgrund des Änderungsumfanges festlegen, welche Nachprüfungen im jeweiligen Fall erforderlich sind. Grundsätzlich gelten die folgenden Regeln:

- werden Hauptkomponenten geändert, die die Filtrationseigenschaften des PFS beeinflussen können, so muss der gesamte Test VFT1–3 wiederholt werden

- werden katalytisch wirksame Komponenten geändert wie Beschichtungen oder Additive, so muss der VSET wiederholt werden
- werden Funktionselemente des mechanische/elektrischen Aufbaus geändert, die die betriebliche Zuverlässigkeit beeinflussen können, so ist der Dauerlauf VFT2 über 2000 Bh mit anschließendem VFT3 zu wiederholen
- kleine Änderungen anderer Art können auf administrativem Weg in die Zulassung übernommen werden.

7.2.4 Verantwortung des Filterherstellers und Übertragbarkeit des Eignungszertifikats

Der Eintrag in die Filterliste erfolgt aufgrund der VERT-Eignungsprüfung auf den Namen des für die Qualität des geprüften Filtersystems verantwortlichen Herstellers für eine technisch eindeutig und vollumfänglich beschriebene Filterfamilien-Technologie. Der Filterhersteller übernimmt mit dem Eintrag die Verantwortung für die Qualität aller nach dieser geprüften Technologie ausgelieferten und nachgerüsteten PFS. Dieses Zertifikat ist nicht ohne weiteres auf eine andere Firma übertragbar.

7.3 Liste der Partikelfiltersysteme (PFS) mit erfolgreich abgeschlossenem Eignungstest

Voraussetzung für die Aufnahme in die vorliegende Liste ist der erfolgreiche Abschluss aller drei Stufen des Eignungstests VFT1+VFT2+VFT3, sowie VSET bei katalytisch aktiven Systemen, nach den Kriterien des VERT-Pflichtenheftes durch eine geeignete Prüfstelle.

7.3.1 Partikelsysteme für den Dauereinsatz:

Partikelfilter-Systeme für den Dauereinsatz	Prüfnummern ¹ Eignungstest				Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
	VFT1	VFT2	VFT3	VSET	SNF / LNF	Bus	Baumaschinen	Gabelstapler	Schiff / Schiene	Stationär
AIRMEEX³ PFS-Typ: CARMEX SC F ⁵ : IBIDEN SiC Zellenfilter R1 ⁶ : Treibstoff-Additive satacen (Fe) R2 ⁶ : Treibstoff-Additiv satacen 3 (Fe) K ⁷ : AIRMEEX DTL 3600	B148/08.04 ⁴	B171/11.05	B171/11.05		•	•	•	•	•	•
ARVINMERITOR PFS Typ: B-30 F: CORNING DuraTrap™ RC. R: Vollstrom-Diesellbrenner K: integriert	B115/10.02	B126/03.03	B126/03.03		•	•	•	•		
BERSY SRL PFS Typ: BPF – DOC F: Liqtech SiC-Zellenfilter R: Treibstoffadditiv CAM-FBC (Fe) K: Pirelli Ambiente	B165a/00.05	B199a/04.07	B199a/04.07	B179a/04.06	•	•	•	•		
BERSY SRL PFS Typ: BPF F: Liqtech SiC-Zellenfilter R: Treibstoffadditiv CAM-FBC (Fe) K: Pirelli Ambiente	B165a/00.05	B200a/04.07	B200a/04.07	B179a/04.06	•	•	•	•		
COMELA⁸ PFS-Typ: EXOCLEAN F: SiC Ibliden R1: gesteuertes Abgasventil-System R2: katalyt. Kraftstoffverbrennung R3: Treibstoffadditiv EOLYS (Ce/Fe) K: SITA MOS	B147/07.04	B153/03.05	B153/03.05	B156/03.05	• • •	• • •	• • •	• • •		

Partikelfilter-Systeme für den Dauereinsatz	Prüfnummern ¹ Eignungstest				Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
	VFT1	VFT2	VFT3	VSET	SNF / LNF	Bus	Baumaschinen	Gabelstapler	Schiff / Schiene	Stationär
DCL PFS Typ: Titan™ und BlueSky™ F: IBIDEN SiC. R1: Wechselfilter R2: elektrisch im Einbau/Stillstand R3: Treibstoff-Additiv satacen (Fe) R4: Treibstoff-Additiv EOLYS (Ce) K: LogLink FCD-02 oder DCL AF01	B078/07.00	B125/02.03	B125/02/03				•	•		•
DEUTZ¹ PFS Typ: DPFS / DPF F: CORNING DuraTrap™CO R1: Vollstrom-Dieselm Brenner R2: Wechselfilter K: integriert (R1)	B021/12.95	B049/5.98	B049/5.98		•	•	•	•	•	•
DINEX⁸ PFS-Typ: DPX 1 und DPX 2 F: CORNING DuraTrap™CO R: katalytisch = Engelhard DPX1 K: PDL V3.0	B106/05.02	B160/03.05	B160/03.05	B114/03.03	•	•	•	•		
ECS (UNIKAT) PFS Typ: V F: CORNING DuraTrap™CO R1: elektrisch im Einbau/Stillstand R2: Wechselfilter K: LogLink FCD-02	B021/12.95	B049/5.98	B049/5.98		•		•	•	•	•
ECS (UNIKAT) PFS Typ: K18 F: IBIDEN SiC R1: elektrisch im Einbau/Stillstand R2: Wechselfilter K: Loglink FCD-02	B118/10.02	B118/10.02	B118/10.02		•		•	•	•	•
ECS (UNIKAT)⁸ PFS-Typ: Purifilter F: IBIDEN SiC R1: Catalytic coating K: LogLink FCD-02	B132/04.03	B133/04.03	B133/04.03	B138/09.03	•	•	•	•	•	•
EMINOX⁸ PFS Typ: DPF-CRT™ F: CORNING DuraTrap™CO. R1: NO ₂ aus Oxidationskatalysator K: EminoX ESI	B112/10.02	B180/05.06	B180/05.06	B113/10.02	•	•	•	•	•	•

Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
Bauart	Einbauelemente	Einbauelemente	Einbauelemente	Einbauelemente	Einbauelemente
B114/03.03	.	.	.	.	.
B137/09.03	.	.	.	.	.
B114/03.03	.	.	.	.	.
VSET	.	.	.	.	.
SNF / LNF	.	.	.	.	.
Bus	.	.	.	.	.
Baummaschinen	.	.	.	.	.
Gabelstapler	.	.	.	.	.
Schiff / Schiene	.	.	.	.	.
Stationär	.	.	.	.	.

Partikelfilter-Systeme für den Dauereinsatz	Prüfnummern ¹ Eignungstest				Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
	VFT1	VFT2	VFT3	VSET	SNF / LNF	Bus	Baumaschinen	Gabelstapler	Schiff / Schiene	Stationär
GREENTOP PFS-Typ: GREENTOP SiK F: IBIDEN SiC Zellenfilter R1: Katalytische Beschichtung R2: Treibstoff-Additiv Infineum F7991 R3: Treibstoff-Additiv EOLYS DPX 10 K: Greentop TWK	B133/04.03	B173/11.05	B173/11.05	B138/09.03	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
HJS / DES PFS-Typ: SMF-AR F: HJS-Sintermetallfilter R1: thermoelektrisch / Additiv satacen R2: thermoelektrisch / Additiv Eolys R3: Treibstoff-Additiv satacen R4: Treibstoff-Additiv Eolys K: integriert	B155/04.05	B195/12.06	B195/12.06	EMPA 167985	• • • •	• • • •	• • • •	• • • •	• • • •	• • • •
HJS / DES PFS Typ: SMF® F: Sintermetallfilter R1: Treibstoff-Additiv satacen (Fe) R2: Treibstoff-Additiv EOLYS (Ce) K: LogLink FCD-02	B021/12.95	B049/5.98	B049/5.98	EMPA 167985	• •	• •	• •	• •	• •	• •
HJS / DES^a PFS Typ: CRT® F: CORNING DuraTrapTMCO mit vorgeschaltetem Oxidationskat. R: NO ₂ aus Oxidationskatalysator K: LogLink FCD-02	B053/4.98	B097/10.01	B097/10.01	B111/10.02	•	•	•	•	•	•
HJS / DES^a PFS-Typ: CRT® F: HJS-SMF (Sintermetallfilter) R: NO ₂ aus Oxidationskatalysator K: DaLog MDE	B155/03.05	B159/03.05	B159/03.05	B111/10.02	•	•	•	•	•	•
HUG PFS-Typ: mobiclean S PF: LiqTech SiC R1: katalytisch R2: Vollstombrenner K: BC 500	B141/11.03	B168/08/05	B168/08/05	B157/04/04	• •	• •	• •	• •	• •	• •
HUG PFS Typ: mobiru F: Faserflechtfilter System HUG R: Dieselmotor im Motorleerlauf	B099/11.01								•	•

[illegible]

Partikelfilter-Systeme für den Dauereinsatz	Prüfnummern ¹ Eignungstest				Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
	VFT1	VFT2	VFT3	VSET	SNF / LNF	Bus	Baummaschinen	Gabelstapler	Schiff / Schiene	Stationär
LIEBHERR⁸ PFS Typ: - F: CORNING DuraTrap™CO R: katalytisch = Engelhard K: integriert	B136/09.02	B192/11.06	B192/11.06	B137/09.03			•	•		
PIRELLI AMBIENTE⁸ PFS Typ: FeelPure-DOC F: Liqtech SiC-Zellenfilter R: Treibstoffadditiv CAM-FBC (Fe) K: Pirelli Ambiente	B165/00.05	B199/04.07	B199/04.07	B179/04.06	•	•	•	•		•
PIRELLI AMBIENTE PFS Typ: FeelPure F: Liqtech SiC-Zellenfilter R: Treibstoffadditiv CAM-FBC (Fe) K: Pirelli Ambiente	B165/00.05	B200/04.07	B200/04.07	B179/04.06	•	•	•	•		

Legende zur Liste der Partikelfilter-Systeme (PFS) mit erfolgreich abgeschlossenem Eignungstest

- 1 Die Prüfnummer besteht aus Berichtsnummer und Berichtsdatum
- 2 Die markierten Einsatzbereiche für die Filtersysteme dienen lediglich einer ersten Orientierung. Auswahl und Auslegung eines bestimmten Filtersystems für einen gegebenen Einsatzfall liegen in der Verantwortung des Anbieters, der dafür auch Garantie zu leisten hat (Anhang 1).
- 3 Adressen der Hersteller und Importeure von PFS mit Eignungstest siehe Anhang 4
- 4 Prüfbericht des gemeldeten Messlabors
- 5 F = Filtermedium
- 6 R1 = Regenerationsverfahren des geprüften Systems;
R1, R2 = verschiedene Regenerationsverfahren beim gleichen PFS
- 7 K = Elektronische Filterkontrolle
- 8 Partikelfilter-Systeme mit systembedingt erhöhtem NO₂-Emissionsanteil. Der Einsatz solcher Systeme unterliegt den gültigen Vorschriften am Einsatzort.

7.3.2 Partikelfiltersysteme für den Kurzeinsatz

Partikelfilter-Systeme für den Kurzeinsatz	Prüfnummern Eignungstest	Einsatzbereiche mit Hersteller-Referenzen ²					
		SNF / LNF	Bus	Baumaschinen	Gabelstapler	Schiff/Schiene	Stationär
BAUMÜLLER PFS-Typ: BP-Partikelfilter F: Glasfaservlies R1: Entsorgung als Gewerbeabfall K: Spitzendruckmanometer	B128/03.03	•	•	•	•		
EHC PFS-Typ: HT F: Glasfaserwolle R: Entsorgung als brennbarer Gewerbeabfall in KVA	B 135/10.03	•	•	•	•	•	
EHC PFS-Typ: L20 F: Glasfaserwolle R: Entsorgung als brennbarer Gewerbeabfall in KVA	B072/3.00	•	•	•	•		
TSH PFS-Typ: TSH-AK xx yy F: Keramik / Draht – Gestrick R1: Katalytische Beschichtung R2: Heissluftgebläse ausgebaut K: Spitzendruckmanometer	B128/03.03	•	•	•	•		
TSH PFS-Typ: AWPf 312/310 F: Keramik / Draht – Gestrick R1: Katalytische Beschichtung R2: Heissluftgebläse extern K: Spitzendruckmanometer	B128a/07.04 Durchsatz begrenzt	• •	• •	• •	• •		

7.4 Kosten im Detail

Tabelle 7-1 Kosten pro vermiedener Tonne Partikelemissionen nach Szenarien bzw. Größenklassen

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
1	<18kW	4.107	3.336.684	2.104.526	6.407.428	3.552.312
	18–37kW	4.564	5.112.085	3.149.549	8.021.840	4.787.856
	37–75kW	4.698	5.628.351	3.467.215	9.267.831	5.650.567
	75–130kW	1.791	2.571.418	1.568.469	5.993.265	3.933.638
	130–560kW	1.075	1.945.780	1.160.740	4.490.104	2.917.444
	Summe	16.236	18.594.318	11.450.500	34.180.468	20.841.816

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
2	<18kW	-	-	-	-	-
	18–37kW	22.820	25.560.423	15.747.747	40.109.199	23.939.278
	37–75kW	23.491	28.141.757	17.336.074	46.339.153	28.252.834
	75–130kW	8.955	12.857.090	7.842.345	29.966.326	19.668.189
	130–560kW	5.377	9.728.900	5.803.702	22.450.522	14.587.220
	Summe	60.643	76.288.170	46.729.868	138.865.199	86.447.520

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
3	<18kW	-	-	-	-	-
	18–37kW	-	-	-	-	-
	37–75kW	23.491	28.141.757	17.336.074	46.339.153	28.252.834
	75–130kW	8.955	12.857.090	7.842.345	29.966.326	19.668.189
	130–560kW	5.377	9.728.900	5.803.702	22.450.522	14.587.220
	Summe	37.823	50.727.747	30.982.120	98.756.001	62.508.243

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
4	<18kW	-	-	-	-	-
	18–37kW	-	-	-	-	-
	37–75kW	-	-	-	-	-
	75–130kW	8.955	12.857.090	7.842.345	29.966.326	19.668.189
	130–560kW	5.377	9.728.900	5.803.702	22.450.522	14.587.220
	Summe	14.332	22.585.990	13.646.047	52.416.848	34.255.409

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
5	<18kW	20.536	16.683.421	10.522.630	32.037.138	17.761.560
	18–37kW	22.820	25.560.423	15.747.747	40.109.199	23.939.278
	37–75kW	-	-	-	-	-
	75–130kW	-	-	-	-	-
	130–560kW	-	-	-	-	-
	Summe	43.356	42.243.844	26.270.378	72.146.337	41.700.837

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
6	<18kW	-	-	-	-	-
	18–37kW	-	-	-	-	-
	37–75kW	23.491	28.141.757	17.336.074	46.339.153	28.252.834
	75–130kW	-	-	-	-	-
	130–560kW	-	-	-	-	-
	Summe	23.491	28.141.757	17.336.074	46.339.153	28.252.834

Szenarium	Größenklasse	umzurüstender Maschinenanteil	jeweils günstigster Anbieter		jeweils teuerster Anbieter	
			Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre	Kosten p.a. über 5 Jahre	Kosten p.a. über 10 Jahre
7	<18kW	6.808	5.531.011	3.488.540	10.621.188	5.888.443
	18–37kW	7.566	8.473.980	5.220.809	13.297.297	7.936.526
	37–75kW	7.788	9.329.763	5.747.383	15.362.697	9.366.588
	75–130kW	2.733	3.923.346	2.393.095	9.144.237	6.001.756
	130–560kW	1.641	2.968.778	1.771.002	6.850.786	4.451.296
	Summe	26.535	30.226.877	18.620.829	55.276.205	33.644.609

Literaturverzeichnis

- Anair D.** (2006): Digging Up Trouble, The Health Risks of Construction Pollution in California. UCS-Publications, Cambridge.
- ARBÖ**(2008): Auto-, Motor- und Radfahrerbund - Bundesorganisation
<http://www.arboe-steiermark.at/1363.html>
- BAFU** (2003): Bundesamt für Umwelt: Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern. Umwelt-Materialien Nr. 148. Luft. Bern.
- BAFU**(2007):- Bundesamt für Umwelt: Filterliste BAFU/Suva. Geprüfte und erprobte Partikelfilter-Systeme für die Nachrüstung von Dieselmotoren. UV-0741-D
- Basshuysen, R.** (2007): Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, Siemens-VDO Automotive Vieweg+Teubner Verlag.
- Bell, M.L.; Davis, D.L.; Fletcher, T.** (2004): A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution. In: Environmental Health Perspective. Vol. 112, S. 2-8.
- Bimblecombe, P.** (1987): The Big Smoke: A History of Air Pollution in London since Medieval Times. Methuen, London.
- Bobak, M.; Leon, D.A.** (1992): Air pollution and Infant Mortality in the Czech Republic, 1986-1988. In: Lancet. Vol. 340, p.1010-1014.
- Davis, D.** (2002): When Smoke Ran Like Water. Basic Books, New York.
- Jaussi, F.** (2008): Off-Road Dieselmotoren & zukünftige Abgasgrenzwerte, CTI conference presentation, Juli.
- Lipfert, F.W.** (1994): Air Pollution and Community Health: A Critical Review and Data Sourcebook. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Mayer, A.** (2007): Information sources for particulate filter technology, Seminar on DPF Particle filter retrofitting Diesel engines HdT, 27th June, held in Munich , Germany.
- Mayer, A.** (2007): Internationale Erfahrungen mit Partikelfiltern bei Baumaschinen, Urbane Luft Initiative – Wien, 21 Februar 2007.
- ÖSTAT** (1997): Baustatistik, Gerätebestand im Hoch- und Tiefbau 1995
- Pope, A.C.** (2006): Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect. In: Journal of Air & Waste Management Association. Vol. 56, p. 709-742.

Pressekonferenz (Mai 2007): Geringe Luftbelastung im Winter – Aktueller Stand bei der Umsetzung des 30+1 Maßnahmenprogrammes zur Verbesserung der Luftqualität mit Landesrat Ing. Erich Schwärzler und DI Arthur Sottopietra.

REMUS (2008): – Forschungs- und Abgasanlagenproduktionsgesellschaft m.b.H.
<http://www.partikelfilterkat.at/html/lieferprogramm.html>

Sottopietra A. (2007): Feinstaub – Dieselruß: Emissionsminderung und der Stand der Technik aus der Sicht eines lufthygienischen Sachverständigen in Genehmigungsverfahren. OIAZ 1-3/2007.

SRU (2002): (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen): Umweltgutachten 2002, Feinstäube. Verlag Metzler-Poeschel Stuttgart.

UMWELTBUNDESAMT (2005a): Schneider, J, Spangl, W., Placer, K. & Moosmann, L.: Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen der Exposition gegenüber Schwebestaub in Österreich. Reports, Bd. REP-0020. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2005b): Statuserhebung betreffend NO₂-Grenzwertüberschreitungen in Imst im Jahr 2004. Umweltbundesamt Wien, 2005.

UMWELTBUNDESAMT (2006a): Anderl, M.; Kampel, E.; Köther, T.; Muik, B.; Schodl, B.; Poupa, St. & Wieser, M.: Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2008. Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Report, Bd. REP-0133. Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2006b): Schneider, J.; Nagl, C.; Spangl, W.; et. al.: Schwebestaub in Österreich 2006. Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung . BE 277. Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2007a): Hagendorfer H.; Uhl, M.: Chromspeziation in Feinstaub (PM₁₀). Entwicklung eines Routineverfahrens, Einfluss des Verkehrs und toxikologische Relevanz. Report, Bd. REP-0111. Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2007b): Sattelberger, R.: Human Biomonitoring. Report, Bd. REP-0131. Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2008): Spangl, W.; Nagl, C.; Moosmann, L.: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2007. Report, Bd. REP-0153. Wien.

UMWELTBUNDESAMT Deutschland & TTM (2007): Messtechnische Untersuchung offener Partikelminderungssysteme. Abschlussbericht. Autoren Czerwinski, J. & Comte, P., Nidau.

US-EPA (2002): Air quality criteria for particulate matter, Research Triangle Park, NC, USA, draft April 2002.

- WHO** (2000): Air Quality Guidelines for Europe, second Edition Copenhagen WHO regional Publications, European Series No 91.
- WHO** (2003): Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Report from WHO working group meeting Bonn, 13-15 January 2003. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO** (2004): Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O₃), WHO Europe.
- WHO** (2006): Air Quality Guidelines for Europe. Global Update 2005. particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment.
- Wichmann, H.E.; Spix, C.; Tuch, T.; Wölke, G.; Peters, A.; Heinrich, J.; Kreyling, W.G.; Heyder, J.** (2000): Daily Mortality and Fine and Ultra fine Particles in Erfurt, Germany, Part 1: Role of Particle Number and Particle Mass in HEI-Report. Cambridge MA. 98:1-96.

Landesregierungen 2008 (Internet)

- 1 Amt der Burgenländischen Landesregierung, 7000 Eisenstadt, Europaplatz 1
- 2 Amt der Kärntner Landesregierung, 9020 Klagenfurt, Arnulfplatz 1
- 3 Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Landhausplatz 1, 3109 St.Pölten
- 4 Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 4020 Linz, Klosterstraße 7
- 5 Amt der Salzburger Landesregierung, 5020 Salzburg, Mozartplatz 1
- 6 Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 8010 Graz, Hofgasse 15
- 7 Amt der Tiroler Landesregierung, 6020 Innsbruck, Eduard Wallnöfer Platz 3
- 8 Amt der Vorarlberger Landesregierung, 6900 Bregenz, Römerstraße 32
- 9 Amt der Wiener Landesregierung, 1010 Wien, Rathaus

Verordnungen, Rechtsnormen und Gesetze

1. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2006 - GKV 2006) (Celex-Nummern: 383L0477, 390L0394, 391L0322, 391L0382, 396L0094, 397L0042, 398L0024, 300L0039, 32000L0039)
2. Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz - ASchG) (Stand: September 2006)

3. Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Soziales über Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer bei Ausführung von Bauarbeiten (Bauarbeiterschutzverordnung - BauV), BGBl.Nr. 340/1994
4. Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Soziales über Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer bei Ausführung von Bauarbeiten (Bauarbeiterschutzverordnung - BauV), BGBl.Nr. 340/1994
5. EU-Richtlinie 1999/30/EG vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffdioxide, Partikel und Blei in der Luft
6. DIN EN 12341, Luftbeschaffenheit – Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub – Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Messverfahren und Referenzmeßmethode.