

# Feinstaub – Dieselruß: Emissionsminderung und Stand der Technik aus der Sicht eines lufthygienischen Sachverständigen in Genehmigungsverfahren

Von Arthur Sottopietra, Bregenz

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

(Eingelangt am 15. Jänner 2007)



Dipl.-Ing.  
Arthur Sottopietra

## Kurzfassung

*Die öffentlich und vielfach kontrovers geführten Diskussionen zur Feinstaubbelastung in Österreich und anderen europäischen Ländern brachten ein schon lange bekanntes lufthygienisches Problem in das Zentrum der Auseinandersetzung, nämlich Dieselrußemissionen bzw. Dieselmotoremissionen. Ein Sachverständiger ist per Gesetz und unter persönlicher Haftung gem. ABGB (Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch) verpflichtet, die bestehenden gesetzlichen Regelungen anzuwenden. Die Interessen des*

*Arbeitnehmerschutzes bzw. die Umsetzung erforderlicher technischer Maßnahmen obliegen per Gesetz dem Arbeitgeber. Im Folgenden werden die wichtigsten diesbezüglichen in Österreich bestehenden Vorschriften dargelegt, um eine kritische Diskussion der vorhandenen Regelungen anzustoßen. Ausgangslage bilden die Gesundheitsgefährdung und Verfügbarkeit von Maßnahmen zur Risikominderung.*

- Dieselmotoremissionen wurden bereits 1987 durch die WHO als krebserregend eingestuft [1]
- Dieselpartikelfilter als wirksame Maßnahme zur Emissionsreduktion sind seit Jahren technisch verfügbar und Stand der Technik

## 1. Vorbemerkung zu Quellen, Eigenschaften und Wirkung

Dieselmotoren von schweren Nutzfahrzeugen, Baumaschinen, motorischen Arbeitsgeräten oder Off-Roadmaschinen sind Hauptquellen für Dieselrußemissionen und damit auch für ultrafeine Partikel.

Dieselpartikel haben einen Rußkern aus kettenförmigen Kohlenstoffverbindungen. Der mittlere Durchmesser der Dieselpartikel liegt unter 100 nm (Nanometer). Der Rußkern adsorbiert organischer Substanzen wie PAH (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) oder Schwermetalle und oxidierte Schwefelverbindungen.

Die gesundheitsschädliche Wirkung wird auf die alveolengängige Ultrafeinstaubfraktion bzw. auf Partikel mit einem Durchmesser von unter 1 µm zurückgeführt. Als alveolengängig werden diese Partikel deshalb bezeichnet, da diese bis in die feinsten Verästelungen der Lunge bzw. die Lungenbläschen (Alveolen) eindringen und über diesen Expositionspfad bis in die Blutbahn diffundieren können.

Der Rußkern wird hauptsächlich für die krebserzeugende Wirkung von Dieselruß verantwortlich gemacht. Problematisch sind zudem die Anlagerungen von krebserregenden PAH und Schwermetalloxiden, die durch Motorabrieb und Schmierölzusätze entstehen. Diese ultrafeinen Partikel [Partikeldurchmesser definiert als Diffusions-Äquivalentdurchmesser < 100 nm, Entstehung vorwiegend zufolge der Verbrennung unter hohem Druck entstehen; die mechanische Zerkleinerung findet ihre untere Grenze bei etwa 1-2 µm, weswegen die verschiedenen Ab-

riebe nicht zu der hier betrachteten Klasse zählen] können nach Einatmung in weniger als einer Stunde das ganze Lungengewebe durchdringen oder bereits in der Nase über die Riechnerven ins Gehirn eintreten. Ultrafeine Partikel diffundieren in die Blutgefäße der Lunge und in die roten Blutkörperchen. Damit werden sie mit dem Blut im ganzen Organismus verteilt [3].

## 2. Ultrafeine Partikel – Rußpartikel

Für die lufthygienische Charakterisierung dieser Partikel sind folgende Tatsachen von Bedeutung:

- Die Partikel entstehen im Wesentlichen bei Verbrennungsprozessen und Gasphasenreaktionen (sekundär gebildete Aerosole).
- Die gesundheitsschädliche Wirkung der Dieselmotoremissionen wird auf die ultrafeinen Partikelemissionen zurückgeführt.
- Massenbezogene Parameter (gewichtbezogene Grenzwerte) stellen keine geeigneten Kenngrößen zur Einstufung des Gefährdungspotenzials dar. Die gesundheitsschädliche Wirkung steigt mit der Anzahlkonzentration oder der Partikeloberfläche an.
- Die menschliche Lunge verfügt über keine effektive Reinigungswirkung zur Elimination solcher Partikel.

Nur Dieselpartikelfilter [Als Partikelfilter werden im folgenden ausschließlich geschlossene Filtersysteme oder Wandstromfilter verstanden, die eine Abscheidewirkung von mindestens 95% bezogen auf Partikel mit einem Durchmesser von 30 nm – 100 nm aufweisen] stellen nach derzeitigem Kenntnisstand die wirksamste Maßnahme gegen diese Emissionen dar.

## 3. Exposition am Arbeitsplatz – Dieselmotoremissionen

Die Belastung und Exposition von ArbeitnehmerInnen am Arbeitsplatz wird durch einschlägige gesetzliche Regelungen begrenzt. In Österreich gelten die Vorschriften der Grenzwertverordnung 2006 (GKV 2006)[5] und die Bestimmungen des ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) [6].

Die Einstufung von partikelförmigen Dieselmotoremissionen als eindeutig krebserzeugend ist in der GKV 2006 [GKV 2006, Anhang III, C Krebserzeugende Stoffgruppen und Stoffgemische, Z 7] festgelegt. Arbeitsplätze bei denen mit Dieselmotoremissionen zu rechnen ist, gelten nach TRGS als Arbeitsplätze mit karzinogener Belastung.

*Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, in denen Dieselmotoremissionen freigesetzt werden, sind als krebserzeugende Tätigkeiten oder Verfahren einzustufen (TRGS 906). [7]*

Für krebserregende Stoffe wurden keine Grenzwerte im Sinne von Unbedenklichkeitsschwellen sondern technische Richtkonzentrationen (TRK Werte) festgelegt. Die Einhaltung der TRK-Werte kann allenfalls das Risiko einer Gesundheitsbeeinträchtigung vermindern, vermag dieses jedoch nicht vollständig auszuschließen.

Das Arbeitnehmerschutz-Konzept geht bei der Exposition mit Karzinogenen (wie z.B. Dieselruß) von einem mehrstufigen Ansatz aus:

1. TRK-Werte: Höchstwerte, die nicht überschritten werden dürfen
2. Minimierungsgebot: Unabhängig von der Höhe der Immissionsbelastung am Arbeitsplatz und unabhängig von der Frage, inwieweit TRK-Werte eingehalten werden, ist in jedem Fall eine Minimierung der Arbeitsplatzbelastung nach jeweils aktuellem Stand der Technik notwendig.

Für karzinogen eingestufte Schadstoffe oder bei karzinogen exponierten Arbeitsplätzen gilt ein sog. Minimierungsgebot. Dieses ist in §§ 43 und 45 des ASchG definiert [6]. Ein Minimierungsgebot ist auch in der TRGS 554 [8] angeführt.

**Tabelle 1:** TRK Werte für Dieselmotoremissionen [6]

Minimierungsgebot in §§ 43 und 45 des ASchG [6]:

**§ 43. Abs. 2: Stehen gefährliche Arbeitsstoffe in Verwendung, haben Arbeitgeber Maßnahmen zur Gefahrenverhütung in folgender Rangordnung zu treffen:**

1. Die Menge der vorhandenen gefährlichen Arbeitsstoffe ist auf das nach der Art der Arbeit unbedingt erforderliche Ausmaß zu beschränken.
2. Die Anzahl der Arbeitnehmer, die der Einwirkung von gefährlichen Arbeitsstoffen ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein könnten, ist auf das unbedingt erforderliche Ausmaß zu beschränken.
3. Die Dauer und die Intensität der möglichen Einwirkung von gefährlichen Arbeitsstoffen auf Arbeitnehmer sind auf das unbedingt erforderliche Ausmaß zu beschränken.
4. Die Arbeitsverfahren und Arbeitsvorgänge sind, soweit technisch möglich, so zu gestalten, dass die Arbeitnehmer nicht mit den gefährlichen Arbeitsstoffen in Kontakt kommen können und gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe nicht frei werden können.
5. Kann durch diese Maßnahmen nicht verhindert werden, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe frei werden, so sind diese an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle vollständig zu erfassen und anschließend ohne Gefahr für die Arbeitnehmer zu beseitigen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist

**§45 Abs 4: Steht ein (karzinogener) Arbeitsstoff, für den ein TRK-Wert festgelegt ist, in Verwendung, müssen Arbeitgeber dafür sorgen, dass dieser Wert stets möglichst weit unterschritten wird.**

Eine obligatorische Ausrüstung von dieselbetriebenen Arbeitsgeräten mit Partikelfiltern erscheint daher auf Basis der bestehenden Rechtslage durchaus als rechtskonforme Notwendigkeit. Bei krebserregenden Arbeitsstoffen ist unabhängig von der Einhaltung oder Überschreitung von TRK Werten eine jeweils dem Stand der Technik angepasste Emissionsreduktion erforderlich.

**4. Dieselpartikelfilter sind Stand der Technik**

Gegen die Verwendung von Partikelfiltern oder diesbezügliche Forderungen der Behörde werden vielfach Einwände vorgebracht; auch Privatgutachter werden bemüht. Es wird auf die Unverhältnismäßigkeit und auf eine behauptete technische Undurchführbarkeit verwiesen, wobei oft auf Schadensfälle bezogen wird, die sich dann in der Regel auf falsche Anwendung oder mangelhafte Wartung bzw. nicht fachgerechte Filter-Auslegung zurückführen lassen.

Demgegenüber hat das Schweizer Bundesamt für Umwelt [9] in einem Bericht zur Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern erläutert:

*Dieselrußemissionen ... stellen ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung dar. Mit der Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern kann der Ausstoß der krebserzeugenden Dieselruß-Feinstpartikel nach dem Stand der Technik um mehr als 90 % reduziert werden. Die Einsparungen bei der Gesundheit über-*

wiegen die Kosten der Ausrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern.

Die Umsetzung der österreichischen Grenzwertverordnung bzw. analoger Richtlinien in anderen Staaten hat im Untertagebau zur obligatorischen Ausrüstung von dieselmotorisch angetriebenen Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltern geführt. Die Luftqualität und damit die Exposition der Arbeitnehmer haben sich dadurch deutlich verbessert. [10]

Dieselpartikelfilter sind daher zweifelsfrei als erprobt und als Stand der Technik zu bezeichnen. Dieselpartikelfilter entsprechen den Anforderung an die „best available technology“. Für alle Dieselmotoren in Fahrzeugen oder Flurförderzeugen, die in Räumen wie Ladehallen oder Baustellen im Tunnel eingesetzt werden, verlangt die TRGS 554 [8] die Ausrüstung mit einem wirksamen Partikelfilter.

Aufgrund der derzeitigen gesetzlichen Abgasvorschriften werden jedoch weder schwere Nutzfahrzeuge [gleiches gilt allerdings auch für PKW neuester EURO IV Norm] noch Baumaschinen oder andere Offroadgeräte serienmäßig zwingend mit Partikelfiltern ausgestattet.

In Österreich gilt für die Begrenzung von Emissionen aus Offroadmotoren (Baumaschinen) die *Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (MOT-V)* [11]. Diese Verordnung schreibt in Umsetzung einer entsprechenden Richtlinie der EU die Emissionsgrenzwerte solcher Motoren (Baumaschinen, Traktoren u. dgl.) vor. Sämtliche in Verkehr gebrachte Maschinen und Motoren müssen die Grenzwerte dieser Verordnung erfüllen.

Die MOT-V erlaubt allerdings explizit Ausnahmen für den Arbeitnehmerschutz; strengere Anforderungen an die Emissionsbegrenzung können gem. MOT-V aus Gründen des Arbeitnehmerschutzes vorgeschrieben werden.

**Anforderungen an den Schutz der Arbeitnehmer (§ 14):** Diese Verordnung berührt nicht das Recht, Anforderungen festzulegen, die zum Schutz der Arbeitnehmer beim Einsatz der in dieser Verordnung genannten Maschinen und Geräte für erforderlich gehalten werden, sofern das Inverkehrbringen der betreffenden Motoren dadurch nicht berührt wird.

Anzumerken ist, dass in Österreich die Nachrüstung von Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltern mit bis zu 50% der umweltrelevanten Kosten gefördert wird. [Förderhöhe: max. 25% der umweltrelevanten Investitionskosten für Maßnahmen zur Reduktion von Feinstaubemissionen sowie max. 50% für Abgasnachbehandlungssysteme bei Baumaschinen und Baugeräten; Informationen erteilt die Kommunalkredit Public Consulting GmbH, Türkenstraße 9, 1092 Wien; oder unter: <http://www.public-consulting.at/de/portal/umweltfoerderung/bundesfoerderung/betrieblicheumweltfoerderungiminland/luftlaermundabfall/reduktionvonstaubemissionen/informationsblatt/>]

TRGS 554 – Stand der Technik zur Minimierung von Dieselmotoremissionen [8], [12], [13], [14]

Die Einstufung von Dieselmotoremissionen als krebserzeugend ist Basis der notwendigen Schutzmaßnahmen nach TRGS 554. Die Exposition durch Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz ist so weit wie technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar zu minimieren. Dabei steht im Vordergrund, auf den Einsatz von Dieselmotoren zu verzichten oder die Entstehung der Exposition im Arbeitsbereich zu vermindern, z.B. durch Einsatz von Partikelfiltern. Ist dies nicht möglich oder zumutbar, sind die

Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz durch Absaugungen oder Lüftungstechnische Maßnahmen zu minimieren.

Für alle Dieselmotoren in Fahrzeugen oder Flurförderzeugen, die in Räumen oder Baustellen im Tunnel eingesetzt werden, verlangt die TRGS 554 die Ausrüstung mit einem wirksamen Partikelfilter (siehe auch 5). Ausnahmen beziehen sich z.B. auf die Emissionen von verkehrsrechtlich zugelassenen Fahrzeugen, die nur zum Abstellen bzw. zur Instandhaltung oder zum Rangieren kurzzeitig in die Räume einfahren.

In den genannten Fällen müssen jedoch zumindest wirksame Lüftungen oder Abgasabsaugungen vorhanden sein. Baustellenfahrzeuge, die in Tunnelbaustellen eingesetzt werden, müssen mit einem Partikelfilter ausgerüstet sein, auch wenn das Fahrzeug eine Straßenzulassung hat.

In Abschnitt 4.2.1 normiert die TRGS 554 in Anwendung des Minimierungsgebotes eine generelle Partikelfilterpflicht für geschlossene Arbeitsbereiche und für Bauarbeiten unter Tage. Interessanterweise wird zwar das Minimierungsgebot als Begründung für eine Partikelfilterpflicht herangezogen, dieser Schutzstandard durch die Einschränkung auf geschlossene Arbeitsbereiche bzw. den Untertagebau wieder gelockert.

Eine nicht taxative Aufzählung von weiteren Schutzmaßnahmen (Abschnitte 4.1.3 und 4.1.4) belegt, dass mit der TRGS 554 keine durchgehende Partikelfilterpflicht festgelegt wird. Die Gründe für diese Differenzierung liegen offensichtlich ausschließlich im rechtlich organisatorischen Bereich, zumal das Minimierungsgebot für krebserregende Schadstoffe umfassend gilt.

Diese Differenzierung, dargelegt in einer Norm, ist für Grenzfälle durchaus sinnvoll, z.B. für kurzzeitig auftretende Belastungen in bestimmten Arbeitsbereichen wie Werkstätten oder Anlieferungsbereichen. Diese Regelung verstellt aber den Blick auf andere als die genannten Arbeitsplätze mit zu erwartenden hohen Belastungen, z.B. tiefe Baugruben, ausgedehnte Baustellen oder ständige Arbeitsplätze wie für Maschinenführer oder Baggerfahrer. Bei diesen Arbeitsplätzen ist jedenfalls im Sinne der TRGS 906 eine mitunter erhebliche Belastung durch Dieselruß zu berücksichtigen. Nach TRGS 554 gilt jedoch keine expositionsabhängige Partikelfilterpflicht. Bei verschiedenen Maschinen arbeitet der Maschinenführer unmittelbar neben oder in direkter Nähe neben dem Auspuff. Auch in diesen Fällen gilt eine Partikelfilterpflicht nur bei Tätigkeiten im Untertagebau oder in geschlossenen Räumen. Fundierte Untersuchungen belegen jedoch das generelle Gesundheitsrisiko von Dieselruß-exponierten Arbeitsplätzen. „Ungefiltertes Dieselabgas auf den Baustellen schadet nicht nur der Allgemeinbevölkerung oder den Anwohnern der Baustellen, sondern zuerst und ganz direkt denjenigen, die dort arbeiten, und ihren Arbeitgebern. Eine gute Luftqualität auf der Baustelle vermeidet krankheitsbedingte Arbeitsausfälle und liegt damit auch im Interesse der Bauwirtschaft. Personen, welche nahe bei Verkehrsachsen wohnen oder mit Dieselmotoren arbeiten, sind besonders gefährdet. So wissen wir aus einer Schweizer Untersuchung, dass Berufschauffeure fast 50% häufiger an Lungenkrebs sterben als die Durchschnittsbevölkerung, auch wenn man den Einfluss des Rauchens berücksichtigt. Deutsche Untersuchungen haben für alle Dieselabgas exponierten Berufe ein 43% höheres Risiko für Lungenkrebs errechnet. Für Arbeiter an Maschinen wie Bagger, Bulldozer etc. war das Risiko besonders groß und nahm mit zunehmender Dauer am selben Arbeitsplatz zu. Diese hatten ein doppelt so hohes Lungenkrebsrisiko, wenn sie mehr als 20 Jahre an ihren Maschinen beschäftigt waren, gar ein mehr als 4 mal so hohes Lungenkrebsrisiko als nicht Dieselabgas exponierte Arbeiter. Auch bei diesem Ergebnis wurde selbstverständlich berücksichtigt, ob die Arbeiter geraucht hatten, oder anderen gefährlichen Stoffen (wie Asbest) ausgesetzt waren“. Dr. Regula Rapp Universität Basel [3]

Die Bedeutung des Konzeptes der TRGS 554 und die große Praxisrelevanz liegen in den klaren Forderungen und Festlegungen, wie

- dezidierte Forderung einer regelmäßigen Wartung von Dieselmotoren, um eine dauerhafte Emissionsminderung an den Arbeitsplätzen zu erreichen
- Partikelfilterpflicht in geschlossenen Arbeitbereichen bzw. den Untertagebau
- Klarstellung, dass Lösungen mit Oxidationskatalysator oder offenen Filtern nicht geeignet sind, die zum Arbeitsschutz erforderliche Emissionsminderung von Dieselmotoren zu erreichen [12]
- Verankerung und technische Umsetzung des Minimierungsgebotes in einer grundsätzlich verbindlichen Richtlinie
- Die Regelungen der TRGS 554 sind auch beim Betrieb von Dieselmotoren mit Alternativkraftstoffen (RME, Pflanzenöle) anzuwenden.

### 5. Wirkungsgrad von Partikelfiltern – Stand der Technik

Partikelfilter nach VERT Standard [15] [16] weisen einen sehr hohen Wirkungsgrad auf. Der Abscheidegrad für alveolengängige Partikel mit einem Durchmesser von unter  $0,1 \mu\text{m}$  liegt bei über 99%; der Abscheidegrad für die Dieselrußmasse liegt über 90%.

VERT geprüfte Partikelfilter bewirken nachweislich eine bedeutende Reduktion der Gesundheitsrisiken von Dieselmotorabgasen. Neben lungengängigen Nanopartikeln (Ruß und angelagerte PAH, schwermetallhaltige Asche) werden bei katalytisch beschichteten Filtern oder CRTR-Filtern auch die Emissionen an Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen erheblich verringert.

Die VERT Zertifizierung ist ein international technisch anerkannter Standard; eine Norm im Sinne einer verbindlichen Festlegung für Qualitätsstandards von Dieselpartikelfiltern stellt die VERT Zertifizierung jedoch nicht dar.

#### Stand der Technik – VERT geprüfte Partikelfilter

In einem international angelegten Projekt und unter Mitarbeit der AUVA wurden Kriterien für geeignete Partikelfilter festgelegt. VERT geprüfte Filter erfüllen einen hohen Qualitätsstandard. Die laufende Kontrolle und Evaluation von möglichen Schäden stellt auch im Betrieb sicher, dass nur Systeme hoher Qualität in die VERT Liste aufgenommen werden.

Eine solche VERT Zertifizierung eines Partikelfilters stellt sicher, dass:

1. der Abscheidegrad bezüglich der Partikel-Anzahl (für Partikel im Größenbereich von 20 – 300 nm) über 95 % beträgt
2. der Abscheidegrad bezüglich elementarem Kohlenstoff (Dieselrußmasse) über 90 % beträgt
3. die Wirkung jeweils im Neuzustand sowie nach 2000 Betriebsstunden geprüft wurde
4. keine Erhöhung bei Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxide (NOx) und partikelförmiger Emission gegenüber dem Ausgangszustand des Motors eintreten
5. keine zusätzlichen Schadstoffemissionen wie z.B. gasförmige sekundäre Emissionen, Dioxine, Furane, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe oder Schwefelaerosole auftreten
6. der Druckverlust des Filters bei Maximalbelastung die zulässigen Werte zur Erhaltung der Motorfunktion nicht übersteigen

## 6. Normierung, Einbau und der Funktionstüchtigkeit von Filtern

Offensichtlich ist, dass es eindeutiger Kriterien für Prüfung und Beurteilung von Filtern bedarf. An anderer Stelle in diesem Heft ist ein Vergleich der Methoden, die Kalifornien, jener der US-EPA und jener der VERT-Zertifizierung [Mooney, pp XX] dargestellt. Der Vorstoß der Eidgenossenschaft, die VERT Zertifizierung zur Europäischen oder zur ISO-Norm zu erklären, verdient volle Unterstützung.

Derzeit existiert in Österreich keine verbindlich festgelegte Normierung, welche Eigenschaften oder welchen Abscheidungsgrad Dieselpartikelfilter aufweisen müssen. Der Begriff und die Technik des Partikelfilters sind nicht eindeutig definiert. Ausnahmen hierzu stellen z.B. einzelne Verordnungen verschiedener Bundesländer zur verpflichtenden Ausrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern dar. In diesen sind die Anforderungen an Partikelfilter zwar geregelt, aber die Art und Weise der Messdurchführung und der zu verwendenden Messmethode ist nicht eindeutig geklärt. Die Wahl der Meßmethode hat jedoch einen nicht unerheblichen Einfluss auf Ermittlung des Wirkungsgrades. Dies gilt besonders für die Bestimmung des Abscheidungsgrades in Bezug auf die Partikel-Anzahl oder für die Ermittlung einer Korngrößenverteilung der Partikelemissionen.

Eine einfache und praktikable Überprüfung von installierten Filtersystemen vor Ort und auf Baustellen stößt ebenfalls auf Schwierigkeiten. Ein Rauchgastester bzw. ein konventionelles Messgerät zur Erfassung der Rauchgastrübung (Schwärzungsgrad) kann bei neueren Aggregaten auch ohne Partikelfilter bereits an die Nachweisgrenze stoßen.

Für einzelne Arbeitsstätten oder in einzelnen Richtlinien existieren dezidierte Vorschriften bezüglich des Wirkungsgrades von Partikelfiltern:

*Bei Flurförderfahrzeugen in geschlossenen Räumen sind Partikelfiltersysteme zur Reduktion von krebserzeugenden, partikelförmigen Abgasbestandteilen (Dieselruß) zu verwenden. Die erforderliche Abscheiderate des Partikelfilters muss mindestens 90% des Partikelanteiles betragen, berechnet aus gravimetrisch ausgewerteten Messwerten ohne und mit Filter in einem dem üblichen Betrieb entsprechenden Testzyklus (Erlass Arbeitsinspektion [17])*

*Die TRGS 554 geht von einer ausreichenden Wirksamkeit dann aus, wenn der gravimetrisch – also massenbezogene – Abscheidungsgrad des gesamten Filtersystems mindestens 70% beträgt. [8]*

Eine grundlegende Schwäche dieser Definitionen ist der fehlende Bezug auf einen Wirkungsgrad bezüglich der Partikelanzahl. Die gesundheitsschädliche Wirkung der Partikel im Atemtrakt steigt weniger masseproportional als mit der Partikeloberfläche und der Anzahlkonzentration an.

Weidhofer und Winkler [18] zeigen in einem Grundsatzpapier zur Problematik von Dieselmotoremissionen, dass massebezogene Emissionen und Partikel-Anzahl-Emissionen nicht korrelieren. Die Partikelmasse wird durch wenige, große Partikel (Korngröße > 300 nm) bestimmt; die medizinisch relevante Partikel-Anzahl-Emissionen weist ein ausgeprägtes Maximum bei einer Korngröße von ca. 100 nm auf. Dies bedeutet, dass bei der gravimetrischen Rußbestimmung die hohe Anzahlkonzentration kaum ins Gewicht fällt.

*Ultrafeine Partikel können deshalb nicht durch eine Masse-Messung, sondern müssen durch eine Anzahl-Messung erfasst werden.[16]*

Die ganze Problematik wird dann offensichtlich, wenn die Wirkung von sog. offenen Filtern oder Partikelkatalysatoren im Vergleich zu VERT geprüften Partikelfiltern beurteilt werden muss. Nach derzeitiger Gesetzeslage können und werden offene Systeme als Partikelfilter „verkauft“.

### **7. Emissionsminderung nach Stand der Technik und Immissionsschutz in Anlagen-Genehmigungs-Verfahren**

Die folgenden Ausführungen erheben keineswegs den Anspruch, die sehr komplexe Gesetzeslage vollinhaltlich im Hinblick auf die Fragen zum Immissionsschutz zu durchleuchten. Auf einem pragmatischen Ansatz beruhend, sollen einige wichtige lufthygienische Fragen im Zusammenhang mit Dieselpartikelemissionen und einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen aufgezeigt werden. Von besonderem Interesse sind hier anlagenrechtliche Genehmigungsverfahren nach dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP-G)[19], dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) [20] und nach der Gewerbeordnung (GewO 1994) [21].

Der Betrieb und die Emissionsbelastung von Baustellen und deren Auswirkungen auf die Umwelt sind bei Vorhaben, die der Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen, Teil einer Genehmigung. Bei Verfahren nach den anderen zitierten Gesetzen und auch beim Vollzug von landesspezifischen Baugesetzen, werden die lufthygienischen Auswirkungen von Baustellen auf die Nachbarschaft grundsätzlich nicht näher geprüft.

Kernpunkt bei den Begutachtungen von Dieselmotoremissionen ist die bekannte Schadstoffestufung:

- Dieselruß ist als karzinogene Substanz einzustufen
- sowohl im Arbeitsschutz als auch bei Fragen des Immissionsschutzes gilt für karzinogene Schadstoffe grundsätzlich immer das Minimierungsgebot

Als Grundbedingung für eine Genehmigungsfähigkeit von Anlagen gilt, dass die Emissionen an Luftschadstoffen

- nach dem Stand der Technik minimiert werden
- Gefährdungen der Gesundheit von Kunden, Nachbarn, Betriebsinhabern und deren Angehörigen ausgeschlossen werden [der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer ist durch die Anwendung des ASchG zu gewährleisten]
- Belästigungen, Beeinträchtigungen oder nachteilige Einwirkungen auf ein zumutbares Maß beschränkt werden.

Zur Emissionsminderung sind alle Maßnahmen im Sinne des jeweiligen Standes der Technik bzw. der „best available technology“ (BAT) anzuwenden. Diese Vorsorgebestimmung gilt abstrakt und ist damit weitestgehend unabhängig von der Höhe der resultierenden Immissionsbelastung umzusetzen.

*Der Stand der Technik ist der auf einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren und Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist.*

In Verfahren nach dem UVP-G, dem AWG 2002 bzw. der GewO 94, sind praktisch identische Anforderungen zur Emissionsbegrenzung nach Stand der Technik anzuwenden. Bei Genehmigungsverfahren in denen Dieselmotoremissionen explizit zu bewerten sind, muss daher auch eine Partikelfilterpflicht in Anwendung der gesetzlichen Vorschriften geprüft werden.

Zudem sind aufgrund der hohen Feinstaubbelastung in vielen dicht besiedelten Gebieten Österreichs (bzw. Europas) Maßnahmen zur Verringerung der Feinstaubemissionen und damit auch der Dieselmotoremissionen notwendig. Allerdings ist be-

zöglich der Feinstaubbelastung eine Differenzierung insoweit angebracht, als Dieselruß zwar toxikologisch als karzinogen einzustufen ist, jedoch in Bezug auf die massebezogenen Feinstaub (PM 10) Grenzwerte nur einen geringen Anteil an den (massebezogenen) PM 10 Emissionen aufweist [Feinstaub PM 10 Particulate Matter bzw. Feinstaub mit einem aerodynamische Äquivalentdurchmesser von kleiner 10µm]. Eine Anpassung der Feinstaubgrenzwerte an die toxikologische Relevanz und eine Abkehr von massebezogenen Grenzwerten, oder zumindest eine Adaptierung der Mess- und Untersuchungsparameter wäre sinnvoll [Messung der kleineren Partikel z.B. der PM 1 Belastung, dh Messung der Partikel mit einem aerodynamische Äquivalentdurchmesser von kleiner 1 µm (anstelle 10 µm wie bei PM10)].

Diese Diskrepanz wurde seitens der EU allerdings insoweit schon berücksichtigt, als auch in jedem Maßnahmenprogramm zwingend eine Verringerung der lungengängigen Emissionen verlangt wird:

*Wirkungsseitig legen etliche Untersuchungen nahe, dass unter den lungengängigen Partikeln ultrafeine (kleiner 0,1 µm) und feine Teilchen (kleiner 2,5 µm) ernstere negative Gesundheitsauswirkungen haben als gröbere Partikel in einem Durchmesser zwischen 2,5 bis 10 µm. Maßnahmen zur Verminderung der Feinstaubbelastung sollten diesem Umstand Rechnung tragen, wie es ja auch in der ersten Luftqualitätstochterrichtlinie 1999/3/EG vorgesehen ist. [22]*

Bei Fragen zur Emissionsreduktion von Dieselmotoren kann diese Forderung praktisch nur durch Partikelfilter erreicht werden. Einzelne ältere (CONCAWE) [23] und auch jüngere Untersuchungen [24] zeigen, dass modernste Dieselmotoren (EURO V Motoren) eine erhebliche Reduktion der massebezogenen Partikelemissionen erreichen. Bei einer Anzahl-bezogenen Bewertung der Partikelemissionen werden jedoch keine derartig hohen Verbesserungen gegenüber älteren EURO III Motoren beobachtet.

Hier soll erneut auf die eingangs angeführten arbeitsmedizinischen Begründungen hingewiesen werden und die Notwendigkeit von Partikelfiltern – auch in der OEM Ausrüstung moderner Dieselaggregate – begründet werden:

*Für die gesundheitsschädliche Wirkung sind in erster Linie die anzahlbezogenen Partikel-Emissionen relevant. [25]*

## **8. Emissionsgrenzwerte für Off-Roadmaschinen (Baumaschinen)**

In Österreich gilt für die Begrenzung von Emissionen aus Off-roadmotoren (Baumaschinen) die MOT-V [11]. Aus dieser Verordnung und aktuellen EU-Regelungen ergibt sich zumindest bis zum Jahr 2011 (Inkrafttreten neuer Grenzwertregelungen) keine unmittelbare Notwendigkeit, solche Aggregate serienmäßig mit Partikelfiltern auszustatten. Gleiches gilt im Übrigen auch für die EURO 4 und EURO 5 Grenzwerte für Straßenfahrzeuge (PKW und LKW).

Definieren die Partikel-Grenzwerte in der Abgasgesetzgebung wirklich den Stand der Technik? Offensichtlich nur in legislativer Sicht. Diese Grenzwerte erfüllen technisch und im Hinblick auf Dieselpartikelemissionen gesehen, zweifelsfrei nicht die Vorgaben des Standes der Technik. Inwieweit den gesetzlichen Vorgaben zum Arbeitnehmerschutz entsprochen wird, ist auch zu hinterfragen.

Diese Partikel-Grenzwerte sind zudem als massenbezogene Grenzwerte nicht bzw. nur bedingt geeignet, den Ausstoß von alveolengängigen Nanopartikeln problemädaquat zu begrenzen. In Fachkreisen ist zudem die Eignung der Prüfzyklen zur

Typenprüfung, gerade im Hinblick auf die Emissionsspitzen bei häufigem und raschem Lastwechsel, nicht unumstritten.

Grundsätzlich sollte der Schutzanspruch im Arbeits- und Immissionsschutz und damit die Forderung zur Emissionsminderung nach jeweiligem Stand der Technik höher angesetzt werden, als die bloße Erfüllung der Anforderungen der Abgasgesetzgebung. Diese Zielsetzung würde bei Betriebsanlagenverfahren auf eine verbindlich notwendige Ausstattung solcher Aggregate mit Partikelfiltern hinauslaufen. Bei Arbeitsstätten hat der Betriebsinhaber ohnehin die Pflicht, für eine Belastungsminimierung zu sorgen.

### **9. Rahmenbedingungen zur Nachrüstung von Nutzfahrzeugen und Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltern**

Im Weiteren werden einzelne Rahmenbedingungen sowie gesetzliche Bestimmungen erläutert, die bei der Nachrüstung von schweren Nutzfahrzeugen, Baumaschinen oder Arbeitsgeräten zu berücksichtigen sind.

#### **– CE-Kennzeichnung – Sicherheitsvorschriften:**

Die CE-Kennzeichnung basiert auf der Maschinenrichtlinie [26]. Diese bezweckt den Schutz von ArbeitnehmerInnen am Arbeitsplatz bezüglich mechanischer, physischer und auch chemischer (Luftschadstoffe) Einwirkungen.

#### **– Gefahren durch Emission von Stäuben, Gasen:**

*Die Maschine muss so konzipiert, gebaut und/oder ausgerüstet sein, dass Gefahren durch Gase, Flüssigkeiten, Stäube, Dämpfe und sonstige Abfallprodukte der Maschine vermieden werden. Falls eine solche Gefahr besteht, muss die Maschine so ausgerüstet sein, dass die genannten Stoffe aufgefangen und/oder abgesaugt werden können.*

Inwieweit schon das Inverkehrbringen eines dieselbetriebenen Arbeitsgerätes im Sinne der Maschinenrichtlinie eine obligatorische Ausrüstung mit einem Partikelfilter impliziert, wäre zu prüfen. Die Zielsetzungen der Maschinenrichtlinie lassen in Verbindung mit den Bestimmungen zum ArbeitnehmerInnenschutz eine diesbezügliche Notwendigkeit zweifelsfrei erkennen.

#### **– Sicherheitsrelevante Temperaturprobleme beim Einsatz von Dieselpartikelfiltern:**

Temperaturprobleme sind gerade bei der Nachrüstung in mehrfacher Hinsicht zu berücksichtigen.

- Das Gehäuse eines Partikelfilters erreicht u.U. Temperaturen, die im Bereich der Schmelz- oder Zündtemperatur von Kunststoffen liegen können. Hier ergeben sich unmittelbare Rückwirkungen auf die CE-Kennzeichnung bzw die Betriebssicherheit. Unsachgemäßer Einbau von Partikelfiltern oder mangelhafte Isolierung der Partikelfiltergehäuse hat nachweislich zu sicherheitstechnischen Gefährdungen geführt.
- Das Berühren heißer Oberflächen bzw. von Partikelfiltergehäusen ist durch einen Berührungsschutz sicherzustellen.
- Aus sicherheitstechnischer Sicht müssen auch evtl. erhöhte Abgastemperaturen in Phasen der Regeneration bestimmter Partikelfiltersysteme beachtet werden. Während der Regenerationsphase kann nach Auskunft eines Motorenherstellers, je nach Filtertyp und Filtersystem die Abgastemperatur bis über 350° Celsius erreichen (Personenschutz, Brandschutz) [Mündliche Auskunft anlässlich eines Workshops zur Partikelfiltertechnik bei schweren Nutzfahrzeugen].

– Einschränkung des Sichtfeldes: Die Nachrüstung von Baumaschinen führt unter Umständen zu einem eingeschränkten Sichtfeld für den Maschinenführer. Auch dies muss in Hinblick auf die Maschinensicherheit kontrolliert werden.

– Lärm:

Die Schallemissionen eines Arbeitsgerätes – auch eines Lastkraftwagens bzw eines Omnibusses – sind reglementiert und müssen entsprechenden Vorschriften und Grenzwerten genügen. Diesbezüglich muss sichergestellt werden, dass sowohl im Hinblick auf die CE-Kennzeichnung als auch die Typisierungsvorschriften durch den nachträglichen Einbau eines Partikelfilters keine Verschlechterung eintritt.

Bei der Partikelfilter-Nachrüstung von Fahrzeugen, die auf öffentlichen Straßen verkehren, ist zusätzlich zu den sicherheitsrelevanten Aspekten folgendes zu beachten:

1. Der Einbau des Partikelfilters darf zu keiner Erhöhung der limitierten Schadstoffemission oder zu Änderungen (Verschlechterungen) bezüglich der anzuwendenden Schadstoffgrenzwerte führen.
2. Es dürfen keine zusätzlichen Emissionen auftreten.
3. Die Lärmemissionen (Schallemissionen) dürfen durch den nachträglichen Einbau des Partikelfilters nicht erhöht werden.
4. Der Einbau eines Partikelfilters darf zu keiner Leistungserhöhung führen [Der Einbau eines Partikelfilters führt im Regelfall zu einer geringfügigen Erhöhung des Gegendruckes und damit zu einer geringfügig verringerten Leistung und geringfügig erhöhtem Verbrauch].

Im Regelfall führt dies dazu, dass der Partikelfilter entweder vom jeweiligen Fahrzeug- bzw Arbeitsgerätehersteller freigegeben wird oder zumindest eine so genannte Duldung erreicht wird. Beim fachgerechten Einbau eines Partikelfilters verlangt die VERT-Systematik zusätzliche Lärmmessungen. Die Eintragung in den Typenschein ist allenfalls zu veranlassen. Dieselpartikelfilter erreichen meist bessere Schalldämmwerte als die Originalschalldämpfer. Konstruktionsbedingt sind gerade bei tiefen Frequenzen höhere Schalldämmwirkungen festzustellen.

– Probleme zusätzlicher oder anderer Schadstoffemissionen:

Einzelne Partikelfilter-Systeme führen zu einer Erhöhung der direkten Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )-Emissionen. Im Filter abgeschiedener Ruß wird in kontinuierlich regenerierenden Partikelfiltern bei ausreichend hohen Temperaturen (ca.  $250^\circ\text{C}$ ) durch  $\text{NO}_2$  zu  $\text{CO}_2$  oxidiert. Um dies sicherzustellen, wird das im Abgas überwiegend vorhandene Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) katalytisch zu  $\text{NO}_2$  konvertiert. Als Katalysator wird Platin verwendet; die Partikelfilter werden damit beschichtet oder ein platinbeschichteter Oxidationskatalysator wird dem Filtermodul vorgeschaltet [CRT<sup>R</sup> Prinzip]. Die Konversionsrate von  $\text{NO}$  in  $\text{NO}_2$  liegt bei 40% – 80 %, sodass eine massive Erhöhung der direkten  $\text{NO}_2$ -Emissionen beim Einsatz solcher Filter auftreten kann. Die unmittelbare Erhöhung der direkten  $\text{NO}_2$ -Emissionen ist sowohl bei der Nachrüstung von Straßenfahrzeugen als auch von Arbeitsmaschinen relevant. Die arbeitsplatzbezogenen Grenzwerte (MAK-Werte) bzw. die auftretenden  $\text{NO}_2$ -Emissionen liegen zwar in Wertebereichen, die keine unmittelbare Überschreitung dieses MAK Grenzwertes erwarten lassen. Das Problem der erhöhten  $\text{NO}_2$ -Emissionen ist jedoch zwingend zu berücksichtigen, zumal diese auch deutlich am spezifischen, chlorartigen Geruch wahrnehmbar sind.  $\text{NO}_2$  ist als Reizgas mit lufthygienisch schädlicher Wirkung einzustufen. Die entsprechenden

MAK-Werte sind jedenfalls einzuhalten und die Auswirkungen auf Arbeitsplätze zu evaluieren.

Die Oxidationswirkung derartiger Filtersysteme hat auch positive Aspekte: die Emissionen an Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) verringern sich um 80% – 90% (siehe Abbildung 4 und [4a], [4b]).

Verschiedene Bundesländer in Österreich haben im Zuge der Maßnahmenplanung zur Verbesserung der Luftgüte bei Feinstaub mit Verordnung eine verpflichtende Ausrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern erlassen. Einzelne dieser Verordnungen verlangen explizit, dass keine Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Emissionen eintreten darf. Diese Bestimmung kommt einem Verbot von kontinuierlich regenerierenden Partikelfiltersystemen mit platinhaltigen Katalysatoren gleich. Allerdings sind gerade solche Filtersysteme weit verbreitet und erprobt. Wegen der automatisch ablaufenden Filterregeneration ohne zusätzliche Arbeitsschritte werden diese Systeme sehr häufig eingesetzt.

Bei Additiv basierenden Systemen wird ein katalytisch wirksames Additiv dem Dieseltreibstoff beigegeben. Der katalytische Effekt ermöglicht einen Rußabbrand bei zirka 350 ° Celsius ohne Veränderung der NO<sub>2</sub>-Emissionen. Auch diese Systeme ermöglichen eine Regeneration während des Betriebes des Motors. Allerdings erreichen moderne Dieselmotoren die erforderlichen Abgastemperaturen nicht immer bzw. oft nur bei ausgeprägten Vollastphasen. Bei der Wahl des Additivs ist jedoch sicherzustellen, dass keine kupferhaltigen Systeme eingesetzt werden. Kupferbasierende Systeme können zur Dioxinbildung führen!

Das Emissionsverhalten von VERT geprüften Filtersystemen ist als geprüft und unbedenklich einzustufen, zumal sämtliche Parameter im VERT-Test berücksichtigt werden. Dies gilt mit Ausnahme des Parameters NO<sub>2</sub>. Die Emissionsgesetzgebung bei Verbrennungskraftmotoren ist nur auf den Summenparameter Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), somit auf die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) abgestimmt. Der Einsatz von beschichteten Filtersystemen führt jedoch zu keiner Veränderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen: lediglich das Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> wird stark in Richtung NO<sub>2</sub> verschoben. Hingegen unterscheidet das Immissionsschutzgesetz LUFT (IG-L) [27] zwischen NO und NO<sub>2</sub>, woraus ein Zielkonflikt resultiert. Immissionsgrenzwerte wurden aufgrund der Toxikologie ausschließlich für NO<sub>2</sub> definiert. Durch den NO<sub>2</sub>-Schlupf von Dieselfahrzeugen mit katalytisch wirkendem Dieselpartikelfilter – oder mit Oxidationskatalysator – wird in Straßennähe eine Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Konzentration eintreten. Diese Erhöhung kann im ungünstigen Fall die Behörde zum Handeln gemäß IGL zwingen.

An Stelle einer Schlussbetrachtung wird ein Statement eines angesehenen, Schweizer Mediziners zitiert:

*Die Tatsache, dass der Einbau von Partikelfiltern in Dieselfahrzeuge die Partikel zu über 99% (Anzahl) herausfiltert und dieser erst noch relativ (im Vergleich zum Anschaffungspreis) kostengünstig ist, sollte im Wissen um die potentielle Gesundheitsgefährdung ... Grund genug sein, unverzüglich alle Dieselfahrzeuge mit solchen Filtern auszurüsten. Ob die EU in Sachen Partikelfilter gleich handelt ist doch Angesichts des Risikopotentials dieser Partikel absolut nebensächlich. Man ist in der Lage, Menschen in unmittelbarer Nähe der Emissionen solcher Partikel äußerst effizient zu schützen. ( Prof. Dr. Peter Gehr, Universität Bern [3])*

## 10. Literaturliste

- [1] Feinstaub macht krank; BAFU (ehemals: BUWAL); Bern 2005  
[http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/feinstaub\\_macht\\_krank.pdf](http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/feinstaub_macht_krank.pdf)
- [2] N. Metz, BMW, München: Mass, Size, Number and Surface of diesel soot particles of DI engines with common rail; Int. ETH-Conference on Nanoparticle Measurement, August 2000
- [3] Dieselpartikel Luftschadstoff Nr.1 Wirkungen auf den menschlichen Organismus und technische Lösungen zur Eliminierung dieses Schadstoffs  
[http://www.dieselruss.ch/download/dieselpartikel\\_luftschadstoff\\_nr1.pdf](http://www.dieselruss.ch/download/dieselpartikel_luftschadstoff_nr1.pdf)
- [4a] Mayer; Minimierung der Partikelemissionen von Verbrennungsmotoren; Expert-Verlag; Juni 2004; ISBN: 3816924301
- [4b] Mayer; Elimination of Engine Generated Nanoparticles with 385 Illustrations and 33 Tables Expert-Verlag, August 2005; ISBN: 3816925529
- [5] GKV 2006: Grenzwertverordnung 2006 (GKV 2006), BGBl. II Nr. 253/2006 i.d.g.F. ( GKV Stammfassung GKV 2001: BGBl. II Nr. 253/2001 mit folgenden Änderungen: BGBl. II Nr. 184/2003, BGBl. II Nr. 119/2004, BGBl. II Nr. 242/2006)
- [6] ASchG: ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG), BGBl. Nr. 450/1994
- [7] TRGS 906 Technische Regel für Gefahrstoffe Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV; [http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS.html\\_nnn=true](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS.html_nnn=true)
- [8] TRGS 554 Technische Regel für Gefahrstoffe 554 Dieselmotoremissionen (DME) Ausgabe: März 2006 "Dieselmotoremissionen (DME)" (PDF-Datei, 280 KB), [http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-554.html\\_nnn=true](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-554.html_nnn=true)
- [9] Bericht UMWELT-MATERIALIEN NR. 148 Luft; BAFU (ehemals BUWAL; Schweiz); „Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern Kosten/Nutzen-Betrachtung“
- [10] Feinstaub am Arbeitsplatz : die Emissionen ultrafeiner Partikel und ihre Folgen für ArbeitnehmerInnen; Tagungsband / Franz Greil (Hrsg.). – Wien : Bundeskammer für Arbeiter u. Angestellte, 2006. – 99 S. : Ill., graph. Darst., Kt. ; 30 cm. – (Informationen zur Umweltpolitik ; 170) Adresse d. Verl.: A-1041 Wien, Prinz-Eugen-Straße 20 – 22. – Literaturangaben. – ISBN 3-7062-0095-3 kart. : kostenlos – ISBN 978-3-7062-0095-0
- [11] MOT-V: Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (MOT-V), BGBl. II Nr. 136/2005
- [12] Dr.-Ing. V. Wilms: Dieselmotoremissionen an Arbeitsplätzen – Arbeitsschutzmaßnahmen im Gefahrstoffrecht; ÖIAZ 150. Jg., Heft 6/2005, Seiten 195 - 199
- [13] V. Wilms: Die aktuelle TRGS 554 – Baustein zur Beurteilung und Minimierung der Exposition gegenüber Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 62 (2002) Nr. 1/2 – Jan./Febr.; Seite 30 ff
- [14] Dr.-Ing. V. Wilms, Hamburg und Dipl.-Ing. Univ. W. Chromy, München: Beurteilung und Begrenzung der Exposition von Dieselmotoremissionen an Arbeitsplätzen, TIEFBAU 12/2003
- [15] VERT-Pflichtenheft für Partikelfilter-Systeme <http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/shop/files/pdf/phpMRWAdC.pdf>
- [16] VERT – Filtertest für Partikelfilter-Systeme zur Nachrüstung von Dieselmotoren; Beschreibung und Erläuterung; Dezember 2005; Air Consult Beratung in Luftreinhaltung; [http://www.akpf.org/pub/2005\\_vert\\_air\\_consult\\_de.pdf](http://www.akpf.org/pub/2005_vert_air_consult_de.pdf)
- [17] Erlass Arbeitsinspektion: Voraussetzungen für den Betrieb von motor-kraftbetriebenen Flurförderfahrzeugen in geschlossenen Räumen  
[http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/C4FF0564-AFCC-4068-A81B-023FFF209E2A/0/ERL\\_Flurfoerderzeuge\\_in\\_Raeumen\\_INFO.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/C4FF0564-AFCC-4068-A81B-023FFF209E2A/0/ERL_Flurfoerderzeuge_in_Raeumen_INFO.pdf)
- [18] Dieselmotor-Emissionen unter besonderer Berücksichtigung von Ultrafeinstaub; J. Weidhofer, N. Winker ; [http://www.akpf.org/pub/2006\\_weidhofer.pdf](http://www.akpf.org/pub/2006_weidhofer.pdf)
- [19] UVP-G, Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz BGBl. Nr. 697/1993 i.d.g.F
- [20] AWG, Abfallwirtschaftsgesetz – AWG; BGBl. Nr. 325/1990 idF BGBl. I Nr. 65/2002
- [21] GewO 1994, BGBl. Nr. 194/1994 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 134/2005
- [22] Optionenpapier Feinstaubmaßnahmen: OPTIONEN ZUR VERMINDERUNG DER PM10-BELASTUNG IN ÖSTERREICH <http://www.umwelt-net.at/article/archive/8665>
- [23] CONCAWE report no. 1/05 ; fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced engines and vehicles; Brussels ; January 2005  
<http://www.concawe.be/1/JBAHJDBIKIHIKOBJKMMDNGIVEVD2Y9YBD23BDPKB3BY9LTE4Q/CENet/docs/DLS/Rpt051-2005-00240-01-E.pdf>
- [24] 4. FAD-Konferenz „Herausforderung – Abgasnachbehandlung für Dieselmotoren“ 8. und 9. November in Dresden; Nanopartikel-Emissionen von Euro 4- und Euro 5-HDV-Motoren im Vergleich zu Euro 3 mit/ohne Partikelfilter (A. Mayer, TTM, CH R. Kotzick, DaimlerChrysler AG, D T. Mosimann, ME, F. Legerer, AKPF, A) [in Vorbereitung]
- [25] MAK- und BAT-Werte-Liste 2005; DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley-VCH(S 167 ff)

- [26] Maschinenrichtlinie RICHTLINIE 98/37/EG vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen
- [27] IG-L ; Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe (Immissionsschutzgesetz - Luft, IG-L), BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.G.F.

Dipl.-Ing. Arthur Sottopietra  
 Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit  
 Montfortstrasse 4  
 A-6900 Bregenz

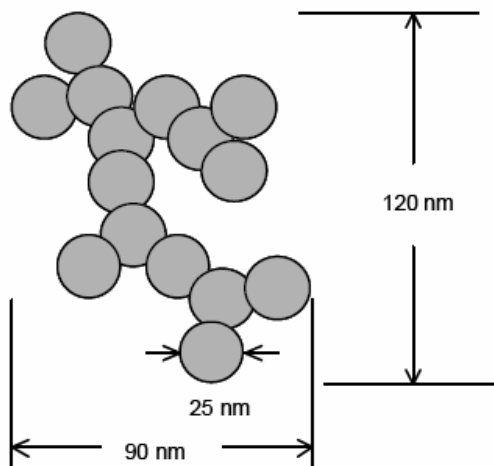
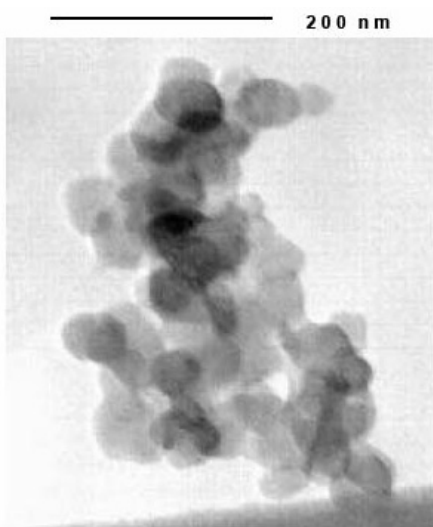
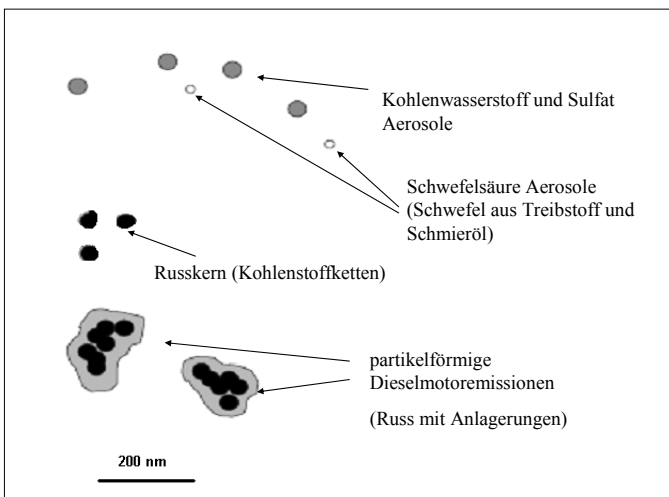
**Abbildung:**

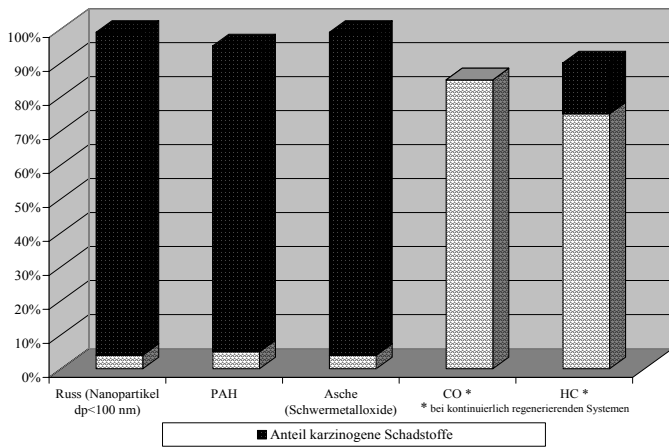
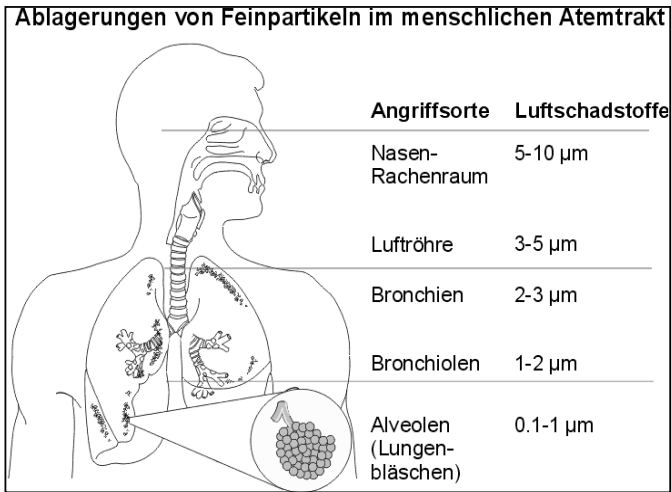
Abb. 1. Darstellung partikelförmiger Dieselmotoremissionen:

Abb. 2. Rußkern aus Kohlenstoffketten (aus [2])

Abb. 3. Feinstaub im menschlichen Atemtrakt (aus Mayer [4a], [4b])

Abb. 4. Wirkung von Partikelfiltern (Gesamtwirkungsgrad und anteiliger Wirkungsgrad für karzinogene Komponenten) [4a], [4b]





TRK Werte [mg / Nm <sup>3</sup> ] GKV 2006, Anhang II	Bauarbeiten unter Tage und Untertagebergbau	Bauarbeiten, übrige Tätigkeiten
Schicht (8 Stunden)	0,3	0,1
Kurzzeitmittelwert (15 Minuten)	1,2	0,4