

Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz

M. Mattenklott, U. Bagschik, W. Chromy, D. Dahmann, D. Kieser, P. Rietschel,
J. Schwalb, K.-E. Sinner, M. Stückrath, R. Van Gelder, V. Wilms

1 Einleitung

Dieselmotoremissionen (DME) stellen ein komplexes Stoffgemisch dar. Neben dem Rußkern und daran adsorbierten organischen Verbindungen (z. B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) bestehen sie aus anderen partikelförmigen Komponenten (z. B. Sulfate, Additive, Metallabrieb), Kohlenwasserstoffen (z. B. Benzol), Aldehyden, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickstoffoxiden, Schwefeldioxid, Schmieröl- und Kraftstoffresten u. a. [1].

DME wurden 1987 von der MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) als krebserzeugender Stoff in die Kategorie IIIA2 eingestuft (erwiesenermaßen krebserzeugend im Tierversuch) [2]. Eine entsprechende Einstufung wurde verbindlich ab 1987 in der TRGS 900 aufgeführt. Im Anhang II der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) wurden DME dann mit Gültigkeit ab 1989 als krebserzeugend in die Gefährdungsgruppe II (stark gefährdend) ohne Konzentrationsangabe aufgenommen. Damit verbunden war die Anwendung der in Anhang II aufgeführten besonderen Umgangsvorschriften. Die zur Zeit gültige Einstufung von DME als krebserzeugender Stoff ist in § 35 Abs. 4 GefStoffV festgeschrieben. Daraus folgt, dass auch für DME die zusätzlichen Vorschriften für den Umgang mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Gefahrstoffen des VI. Abschnitts der GefStoffV anzuwenden sind.

Eine Aufstellung von Grenzwerten erfolgte 1992 durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). Als TRK-Werte wurden $0,2 \text{ mg/m}^3$ bzw., für den Nichtkohlebergbau und Bauarbeiten unter Tage, $0,6 \text{ mg/m}^3$ festgelegt, die sich auf den Gesamtkohlenstoff (total carbon, TC) in der A-Staub-Fraktion beziehen. Die ausführliche Begründung der TRK-Werte erfolgte in Anhang 27 der TRGS 102 (heute TRGS 901). Die Grenzwerte wurden 1997 mit Änderung der Bezugsgröße auf elementaren Kohlenstoff (elementary carbon, EC) auf $0,1 \text{ mg/m}^3$ bzw. $0,3 \text{ mg/m}^3$ abgesenkt [3]. Die derzeitigen Grenzwerte sollen überprüft werden [4], dies betrifft auch die Sonderregelung für die untertägigen Bereiche. Neben den beiden Grenzwerten der TRGS 900 ist für Sonderfälle im 1997 geänderten Anhang

Zusammenfassung Zur Exposition gegenüber Dieselmotoremissionen werden rund 4 000 schichtbezogene Expositionsmessungen aus obertägigen und untertägigen Arbeitsbereichen vorgestellt. Berücksichtigt wurden die Bereiche Lager- und Verladearbeiten, innerbetrieblicher Transport, Reparatur und Wartung, Prüfstand, Durchlauf-Wartung, Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau) und Bauarbeiten unter Tage. Für den elementaren Kohlenstoff (EC) und den Gesamtkohlenstoff (TC) werden jeweils die 50%- und 90%-Werte der Exposition für den Zeitraum 1994 bis 2000 dargestellt. Daneben werden die TC-Expositionswerte für die Zeiträume 1990 bis 1993 und 1994 bis 2000 vorgestellt. Außerdem wurde für die verschiedenen Arbeitsbereiche das Verhältnis von EC zu TC ausgewertet.

Diesel engine emissions at workplaces

Abstract Some 4 000 shift-related measurements of the exposure to diesel engine emissions in surface and underground workplaces are presented. The study considers the fields of warehouse and loading work, shipping and transport within enterprises, repair and maintenance, bench tests, maintenance workshops, non-rail vehicles below ground (excluding coal mining) and underground construction work. The 50 % and 90 % values for elementary carbon (EC) and total carbon (TC), respectively, for exposure over the period from 1994 to 2000 are presented. The TC exposure values for the 1990 to 1993 period are compared with the figures from 1994 to 2000. The relationship between the EC to TC values for the different workplace environments is also evaluated.

27 der TRGS 901 für übertägige Bereiche ein weiterer Grenzwert in Höhe von $0,15 \text{ mg/m}^3$ mit der Messgröße Gesamtkohlenstoff aufgeführt [5]. Erläuterungen zu den Ausführungen in Anhang 27 der TRGS 901 und zur Anwendung des Grenzwertes auf Gesamtkohlenstoff-Basis finden sich in [6].

Nach erfolgter Einstufung und Festlegung des Luftgrenzwertes wurde eine Technische Regel geschaffen, um für die Anwender in den Betrieben den Stand der Technik beim Einsatz von Dieselmotoren am Arbeitsplatz zu beschreiben. Die erste Fassung der TRGS 554 „Dieselmotoremissionen (DME)“ erschien 1993. Die Weiterentwicklung des Standes der Technik wurde durch Aktualisierungen der TRGS berücksichtigt. Mittlerweile liegt die aktuelle Ausgabe März 2001 vor [7].

In der TRGS 554 werden die notwendigen Schutzmaßnahmen zur Minimierung der DME-Exposition an den Arbeitsplätzen beschrieben. Wesentlicher Punkt dabei ist die regelmäßige Wartung einschließlich einer jeweils zum Abschluss durchgeführten Messung der Partikelemission von Dieselmotoren. Dadurch sollen Motordefekte, die zu einer Erhöhung der Partikelemission führen, so weit wie möglich verhindert werden. Außerdem enthält die TRGS 554 Anforderungen an den Einsatz von Rußfiltern für Dieselmotoren in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen und an die notwendigen Lüftungsmaßnahmen in den Hallen.

Mit der aktuellen Fassung der TRGS 554 konnten den Anwendern auch Hilfestellungen für die Gefährdungsbeurteilung gegeben werden. Für eine Reihe von typischen Arbeitsplätzen, für die Messergebnisse ausgewertet werden konnten, sind Empfehlungen zur Erleichterung der Arbeitsbereichsanalyse und der Kontrollmessungen in einem umfangreichen

Dr. rer. nat. Markus Mattenklott, Margret Stückrath, Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin.

Dipl.-Ing. Ute Bagschik, Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft, Düsseldorf.

Dr. rer. nat. Dirk Dahmann, Institut für Gefahrstoff-Forschung – IGF der Bergbau-Berufsgenossenschaft, Bochum.

Dipl.-Ing. Walter Chromy, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München.

Prof. Diethelm Kieser, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, Freiburg.

Dr.-Ing. Peter Rietschel, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Mannheim.

Dr. rer. nat. Joachim Schwalb, Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft, Mannheim.

Dipl.-Ing. Klaus-Eckart Sinner, Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen, Hamburg.

Dr.-Ing. Valerie Wilms, Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen, Hamburg.

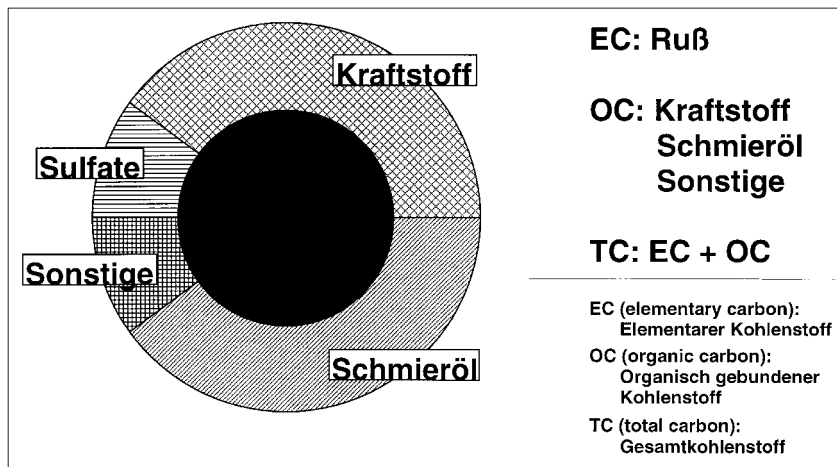


Bild 1 | Bestandteile eines Dieselpartikels nach [10].

Anhang zur TRGS beschrieben worden. Erfüllt ein Arbeitsplatz die in der jeweils anzuwendenden Empfehlung beschriebenen Bedingungen, können die dort aufgeführten Vereinfachungen angewendet werden. In aller Regel reicht eine einzige repräsentative Arbeitsplatzmessung dann aus, wenn alle Messwerte den halben Grenzwert nicht erreichen [8].

Die partikelförmigen DME werden mittels A-Staub-Probenahme (alveolengängige Fraktion nach EN 481) gesammelt, da das Maximum der Korngrößenverteilung deutlich unter $1\ \mu\text{m}$ liegt (ca. $80\ \text{nm}$). Zur Bestimmung der Konzentration von DME stehen verschiedene Analysenverfahren zur Verfügung. Generell kann unterschieden werden zwischen optischen Methoden (Black-Smoke-Verfahren, Aethalometer, photoelektrischer Aerosolsensor) und thermischen Analysen (Glühverlust, coulometrische Titration, IR-Spektrometrie). Bei thermischen Analysen wird durch Glühen bzw. Verbrennen aus dem Feinstaub Kohlendioxid freigesetzt und hieraus die Kohlenstoffmasse coulometrisch ermittelt.

Der Bestimmung des Glühverlustes des Feinstaubes als Maß für die Konzentration von DME wurde wegen der hohen Querempfindlichkeiten lediglich bis Ende der 80er Jahre im Vorfeld der Entwicklung coulometrischer bzw. infrarotspektrometrischer Verfahren angewendet.

Bei der Festlegung der Grenzwerte für DME im Jahr 1992 wurde festgeschrieben, dass DME am Arbeitsplatz durch die coulometrische Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs im Feinstaub zu ermitteln sind. Es wurde auf die Verfahrensbeschreibung BGI 505-44 [9] (früher: ZH 1/120.44) verwiesen. Die Entwurfsfassung dieser ZH-Vorschrift von 1991 wurde 1995 als Weißdruck veröffentlicht. Das in der Entwurfsfassung dokumentierte Verfahren zur Bestimmung des Glühverlustes ist entfallen. Außer der Bestimmung des Gesamtkohlenstoffanteils im Feinstaub (sog. Einschnitt-Verfahren) wird hier auch ein zweites Verfahren zur getrennten Erfassung von organisch gebundenem (organic carbon, OC) und elementarem Kohlenstoff (EC) aufgeführt (sog. Zweischritt-Verfahren).

Als EC wird im Zusammenhang mit der Analytik von DME der graphitähnliche Rußkern der Partikelphase von DME bezeichnet. Die an den Rußpartikeln adsorbierten organischen Verbindungen und auch unverbrannte Kohlenwasserstoffe aus Kraftstoff und Schmieröl werden als OC erfasst (vergl. Bild 1). Die Summe beider Komponenten ergibt den Gesamtkohlenstoff (TC). Eine genaue stoffliche Abgrenzung von EC und OC

kann jedoch mit den thermischen Analysenverfahren nicht erfolgen, da die Unterscheidung von kohlenstoffhaltigen Verbindungen in die Messgrößen EC und OC allein durch die Verfahrensparameter (im Wesentlichen Glühtemperatur und -dauer) bestimmt wird.

Die EC-Konzentration wird zur Überprüfung der Einhaltung des Grenzwertes für DME herangezogen.

Auch die europäische Normung hat sich dieser Sichtweise angeschlossen. Im CEN TC 137 „Workplace Atmospheres“ wurde eine Arbeitsgruppe zur Beschreibung eines Verfahrens zur Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes gegründet. Mit der Verabschiedung eines Entwurfes wird im Jahr 2002 gerechnet. Das in Deutschland gebräuchliche Verfahren BGI 505-44 [9] ist zum

derzeitigen Vorentwurf voll kompatibel. Seine Vergleichbarkeit mit den im europäischen Raum verwendeten Verfahren wurde im Rahmen eines internationalen Ringversuches von mehreren deutschen Teilnehmern erfolgreich nachgewiesen [11]. Von medizinisch-wissenschaftlicher Seite wird in neuerer Zeit häufig die Frage diskutiert, ob mit dem massenbasierten coulometrischen Verfahren die richtige Vorgehensweise zur Erfassung der Dieselmotoremissionen gewählt wird, und ob nicht besser Verfahren gewählt werden müssen, die die Partikelanzahl als Messgröße wählen. Grundlage dieser Diskussion ist die mögliche gesundheitliche Relevanz ultrafeiner Aerosole mit einem mittleren Partikeldurchmesser von deutlich unter $1\ \mu\text{m}$. Eine Umsetzung dieser neuen Konzepte wirft eine große Zahl nicht nur messtechnischer Fragen auf. Insbesondere bedarf es einer Definition, was ultrafeine Aerosole sind. Die derzeitige Arbeitshypothese (Partikeln $< 100\ \text{nm}$) erweist sich gerade für Dieselmotoremissionen als unglücklich, da das Maximum der Partikelgrößenverteilung von DME nahezu immer bei ca. $100\ \text{nm}$ liegt. Das würde bedeuten, dass ein Dieselmotor neben den ultrafeinen immer auch eine große Zahl klassisch zu bewertender Partikeln emittiert. Wegen dieser ungelösten Fragen und auch, weil sich die Vorgehensweise der coulometrischen DME-Bestimmung zur Verbesserung der Arbeitsplatzverhältnisse bewährt hat, wird diese auch weiterhin ein unverzichtbarer Bestandteil der Messtechnik sein. Davon unberührt ist selbstverständlich die Notwendigkeit, auch die Partikelanzahlkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz mit geeigneten Methoden, wie z. B. dem SMPS™ (Scanning Mobility Particle Sizer) zu untersuchen.

2 Messverfahren

Die Messungen in Arbeitsbereichen erfolgten mit Probenahmegeräten zur A-Staub-Bestimmung. Zum Einsatz kamen sowohl ortsfeste als auch personenbezogene bzw. personengetragene Probenahmesysteme [12]. MPG II wird als ortsfestes Gerät schwerpunktmäßig im Bergbau eingesetzt. In über-tägigen Bereichen dominiert das ortsfest, aber auch personenbezogen einsetzbare Probenahmegerät PM 4F. Personengetragen wird das System FSP-BIA mit 2-l-Zyklon (Casella-Zyklon) und seit rund zwei Jahren auch FSP-10 mit einem 10-l-Zyklon eingesetzt. Das 2-l-Probenahmesystem kann jedoch wegen der ungünstigen Nachweisgrenzen ($0,08\ \text{mg}/\text{m}^3$ für EC bei zweistündiger Messung) nur eingeschränkt

genutzt werden. Außerdem haben Untersuchungen im Bereich der Metallverarbeitung gezeigt, dass dort die TC-Messergebnisse des 2-l-Systems im Vergleich zu anderen Probeahmegegeräten zu hoch liegen [13]. Die Autoren haben diesen Befund zum Anlass genommen, ausdrücklich die Umstellung auf EC als Messgröße zu empfehlen, da hier keine Probleme aufgetreten waren.

Die analytische Bestimmung der im Folgenden aufgeführten Expositionsdaten erfolgte nach dem Zweischritt-Verfahren der Methode nach [9]. Von den in Arbeitsbereichen auf (Quarz)Glasfaserfilter gesammelten Staubproben wird in einem ersten Schritt durch Glühen der Probe im Stickstoff-Inertgasstrom nur der organisch gebundene Kohlenstoff des A-Staubes freigesetzt bzw. verdampft. Die Überführung des gebundenen Kohlenstoffs in CO₂ geschieht mittels Oxidation in einem nachgeschalteten Ofen mit Kupferoxid als Sauerstoffspender. Der EC verbleibt bei dieser Behandlung im Feinstaub auf dem Filter. Er wird erst durch anschließendes Verbrennen der Probe im Sauerstoffstrom freigesetzt. Die Bestimmung der CO₂-Menge erfolgt mittels coulometrischer Titration. Hierbei wird das CO₂ in einer Ba(ClO₄)₂-Lösung absorbiert. Die dabei auftretende pH-Änderung wird durch Elektrolyse kompensiert. Aus der Strommenge, die zur eingeleiteten CO₂-Menge proportional ist, kann der Kohlenstoffanteil des A-Staubes der analysierten Probe ermittelt werden.

Die coulometrische Bestimmung von DME weist Querempfindlichkeiten auf, da alle in der Luft an Arbeitsplätzen vorkommenden Stoffe in alveolengängiger Fraktion, die sich auf Filtern abscheiden lassen und bei der Analyse Kohlenstoff liefern, in das Analyseergebnis mit eingehen. Zu nennen sind hier vor allem Lösungsmittel, Kraftstoffe, Ölnebel, Kühlschmierstoffe und Cellulose [6].

3 Datenaufbereitung

3.1 Datenbestand

Durch umfangreiche Messaktivitäten der Berufsgenossenschaften in ihren Mitgliedsbetrieben werden derzeit pro Jahr in ca. 4 000 Betrieben etwa 60 000 Gefahrstoffanalysen zu insgesamt rund 370 Gefahrstoffen an Luftproben durchgeführt. Die Messergebnisse sind zusammen mit den Betriebs-, Expositions- und Probenahmedaten in der BIA-Dokumentation MEGA niedergelegt.

Die in den folgenden Expositionsbeschreibungen verwendeten Messdaten wurden im „Berufsgenossenschaftlichen Messsystem Gefahrstoffe“ (BGMG) ermittelt und in der Dokumentation MEGA gespeichert [14 bis 16].

Für den Zeitraum 1990 bis 1993 lagen rund 310 Messdaten zu DME, gemessen als Gesamtkohlenstoff, aus 100 Betrieben vor. Für den Zeitraum 1994 bis 2000 lagen aus 970 Betrieben jeweils 3 200 Schichtmittelwerte zu DME (Kohlenstoff elementar) und DME (Gesamtkohlenstoff), gemessen als EC bzw. TC, vor.

Die Daten wurden unter Mitarbeit von Experten der jeweiligen Branchen zu vergleichbaren Arbeitsbereichen und Arbeitsverfahren zusammengefasst. Grundlage hierfür sind die Schlüsselverzeichnisse Betriebsarten (Branche) und Arbeitsbereiche [17].

Der Anlass für die im BGMG durchgeführten Messungen ist unterschiedlich, es handelt sich jedoch überwiegend um Messungen

- im Rahmen der Prävention nach SGB VII sowie
- bei Verdacht auf eine Berufskrankheit.

Die für den Bereich der Gleislosfahrzeuge im untertägigen Bergbau (ohne Steinkohlenbergbau) angegebenen 698 Schichtmittelwerte sind originär nicht Bestandteil der BIA-Dokumentation MEGA, sondern gemäß den Vorgaben und Parametern des BGMG vom Institut für Gefahrstoff-Forschung – IGF der Bergbau-Berufsgenossenschaft erhoben worden. Sie entsprechen in allen Details der Erhebung, der Dokumentation und dem Qualitätsmanagement den übrigen hier wiedergegebenen Messergebnisse.

Die 43 Messergebnisse von DME-Messungen im Bereich der Bauarbeiten unter Tage stellen zeitgewichtete Schichtmittelwerte dar und können somit auf den TRK-Wert für Dieselmotoremissionen bezogen werden. Bei den Werten muss jedoch berücksichtigt werden, dass sie nicht direkt miteinander vergleichbar sind, da sie quantitativ wesentlich abhängig sind von dem jeweils angewandten Arbeitsverfahren, dem Stand der Ausrüstung der Geräte und Fahrzeuge mit Partikelfiltern und dem richtigen Einsatz von Dieselpartikelfiltern (siehe hierzu auch Abschn. 6.6).

3.2 Auswahlkriterien

In der Auswertung wurden ausschließlich repräsentative personenbezogene Expositionsmessungen in der Luft am Arbeitsplatz berücksichtigt. Im BGMG werden zur Ermittlung der personenbezogenen Exposition am Arbeitsplatz sowohl stationäre wie auch personengetragene Probenahmesysteme eingesetzt. Bei der Gegenüberstellung der Messwerte von stationären und personengetragenen Messungen wurde eine hervorragende Übereinstimmung festgestellt, so dass bei der vorliegenden Fragestellung beide Systeme gleichermaßen zur Expositionsermittlung herangezogen werden [13]. Es wurde daher auf eine differenzierte Auswertung nach unterschiedlichen Probenahmesystemen verzichtet.

Messdaten zu DME (Kohlenstoff elementar) und zu DME (Gesamtkohlenstoff) wurden seit 1994 jeweils parallel auf demselben Probenträger bestimmt. Dadurch war es möglich, das Verhältnis zwischen DME (Kohlenstoff elementar) und DME (Gesamtkohlenstoff) zu ermitteln. In den Expositionsbeschreibungen wurden nur Messwerte berücksichtigt, die entsprechend der Messstrategie nach TRGS 402 als Schichtmittelwerte zu bewerten sind und somit eine achtstündige Exposition repräsentieren.

3.3 Statistische Parameter der Auswertung

Die Auswertung erfolgte unter Beachtung einer zwischen den Berufsgenossenschaften und dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) getroffenen Vereinbarung zur Nutzung der Dokumentation MEGA: Es werden nur dann Datenkollektive gebildet und statistisch ausgewertet, wenn jeweils mindestens zehn Messwerte aus mindestens fünf Betrieben und zwei Berufsgenossenschaften vorliegen, um einen Rückschluss aus anonymisierten Daten auf einzelne Betriebe auszuschließen.

Bei der Auswertung wurden Daten von vergleichbaren Arbeitsbereichen zusammengefasst und die Verteilung dieser Werte ermittelt. Für die Expositionsangaben wurden unabhängig vom Verteilungstyp des betrachteten Messwertkollektivs die 50%- und 90%- Werte herangezogen. Für diese Werte gilt, dass 50 % bzw. 90 % aller vorhandenen Expositionswerte unterhalb dieser Angaben, die restlichen 50 %

Tabelle 1 Exposition gegenüber DME (Kohlenstoff elementar) und DME (Gesamtkohlenstoff) in Arbeitsbereichen für den Zeitraum 1994 bis 2000.

Arbeitsbereiche (PND ≥ 2 Stunden; ExpD ≥ 6 Stunden) ¹⁾	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	DME (Kohlenstoff elementar)		DME (Gesamtkohlenstoff)	
			50-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	50-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³
Obertägige Arbeitsbereiche						
Lagern, Lagerarbeiten	457	213	0,024	0,086	0,040	0,150
Innerbetrieblicher Transport	203	82	0,027	0,088	0,047	0,137
Flurförderzeuge	506	187	0,025	0,076	0,044	0,121
Reparatur und Wartung	204	76	0,024	0,058	0,032	0,094
Prüfstand	315	37	0,018	0,055	0,026	0,088
Durchlauf-Wartung	266	39	0,025	0,100	0,037	0,130
Untertägige Arbeitsbereiche						
Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau)	698	36	0,095	0,226	0,165	0,373
Bauarbeiten unter Tage ²⁾	43	43	0,150	0,406	0,210	0,498

¹⁾ PND: Probenahmedauer; ExpD: Expositionsdauer.

²⁾ Daten für den Zeitraum 1997 bis 2000.

Tabelle 2 Vergleich der Exposition gegenüber DME (Gesamtkohlenstoff) in Arbeitsbereichen für die Zeiträume 1990 bis 1993 und 1994 bis 2000.

Arbeitsbereich (PND ≥ 2 Stunden; ExpD ≥ 6 Stunden) ¹⁾	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	Dieselmotoremissionen (Gesamtkohlenstoff)			
			1990 – 1993		1994 – 2000	
			50-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	50-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³
Obertägige Arbeitsbereiche						
Lagern, Lagerarbeiten	18 457	11 213	0,08	0,30	0,04	0,15
Innerbetrieblicher Transport	19 203	10 82	0,12	0,42	0,05	0,14
Flurförderzeuge	17 506	11 187	0,08	0,14	0,04	0,12
Reparatur und Wartung	48 204	15 76	0,07	0,22	0,03	0,09
Durchlauf-Wartung	37 266	10 39	0,10	0,21	0,04	0,13
Untertägige Arbeitsbereiche						
Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau)	115 698	4 36	0,18	0,35	0,17	0,37

¹⁾ PND: Probenahmedauer; ExpD: Expositionsdauer.

bzw. 10 % oberhalb dieser Schwelle liegen. Neben diesen statistischen Angaben wurde zu den definierten Arbeitsbereichen die Korrelation zwischen DME (Kohlenstoff elementar) und DME (Gesamtkohlenstoff) ermittelt.

4 Beschreibung der Arbeitsbereiche

4.1 Arbeitsbereiche Lager- und Verladearbeiten, innerbetrieblicher Transport, Flurförderzeuge

Dieser Arbeitsbereich umfasst Daten aus den Bereichen Lagern/Lagerarbeiten, Flurförderzeuge und innerbetrieblicher Transport. Die Daten für diese Bereiche sind in den **Tabellen 1** und **2** getrennt ausgewiesen. Die jeweilige Korrelation zwischen DME (Kohlenstoff elementar) und DME (Gesamtkohlenstoff) zeigen die **Bilder 2** bis **4**.

Das Ein- und Auslagern von Waren mit dieselgetriebenen Flurförderzeugen, der innerbetriebliche Transport, z. B. vom Lager zum Produktionsbereich, und das Verladen von Waren innerhalb von Lager- und Bereitstellungshallen für die Auslieferung an Kunden, verlaufen häufig parallel und gehen zum Teil fließend ineinander über. Da für die Zuordnung der Daten

zu den vorgenannten Bereichen bei der Probenahme insofern auch subjektive Gesichtspunkte maßgeblich waren, lässt sich in vielen Fällen eine eindeutige Abgrenzung zwischen diesen Bereichen nicht vornehmen. Die Messwerte wurden deshalb dem übergeordneten Arbeitsbereich „Lager- und Verladearbeiten, innerbetrieblicher Transport“ zugeordnet und in ihrer Gesamtheit bewertet.

Einsatzbereiche: Dieselgetriebene Fahrzeuge, vor allem Flurförderzeuge, werden in allen Zweigen der gewerblichen Wirtschaft für das Ein- und Auslagern und den innerbetrieblichen Transport von Waren eingesetzt, z. B.

- im Großhandel mit Baustoffen und Nutzholz,
- im Seehafenumschlag,
- im Metall- und Maschinenbau,
- in der chemischen Industrie,
- in Wertstoffsortieranlagen,
- im Handel mit Alt- und Reststoffen,
- in der Getränkeindustrie.

Transportiert werden z. B. palettierte Waren, Gitterboxpaletten, Tankcontainer oder große Einzelstücke, wie Papierrollen oder Baumwollballen. Für den Transport finden in breitem Umfang Gabelstapler Verwendung. Typische Einsatzbereiche von Gabelstaplern sind z. B. Verladehallen in der

Getränkeindustrie [7; 18]. Schüttgüter werden mit Radladern transportiert. Bagger werden z. B. zum Umlagern und Verladen von Schrott eingesetzt, Zugmaschinen beim Be- und Entladen von Seeschiffen. Dieselgetriebene Lkw werden für die Anlieferung bzw. die Auslieferung von Waren eingesetzt. Dieselbetriebene Kleintransporter befahren Lade- und Sortierhallen der Paket- und Lieferdienste und werden dort manuell be- und entladen.

Transportwege:

- Einlagerung: Vom Lkw oder Eisenbahnwaggon in die Lagerhalle oder das Freilager.
- Auslagerung: Vom Lager zum Lkw oder Eisenbahnwaggon.
- Innerbetrieblicher Transport: Vom Lager zum Produktionsbereich und umgekehrt.

Fahrzeuge:

- Flurförderzeuge (Antriebsarten: Dieselmotor, Flüssiggasmotor, Elektromotor. Tragkraft: 1 500 bis 25 000 kg),
- Bagger mit Dieselmotor,
- Radlader mit Dieselmotor,
- Zugmaschinen mit Dieselmotor,
- Lkw/Kleintransporter mit Dieselmotor.

Arbeitsbereiche: Lager- und Umschlagarbeiten finden zum Schutz von Beschäftigten und Waren überwiegend in ganz oder teilweise geschlossenen Hallen statt. Teilweise ist auch ein Pendeln zwischen Außenbereichen und Lagerhallen oder auch Tätigkeiten ganz im Freien (Freilager) zu finden.

Exponierte Beschäftigte: Fahrer der in Lager und Umschlagbereichen eingesetzten Transportfahrzeuge sowie Beschäftigte, die in den betreffenden Arbeitsbereichen tätig sind und z. B. Kommissionier-, Verpackungs- oder Kontrolltätigkeiten durchführen.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Die Exposition ist in der Regel ganzschichtig. Expositionsspitzen fallen in Stoßzeiten an oder wenn in Lagerhallen über Nacht abgestellte Fahrzeuge gestartet werden.

Emissionsmindernde Maßnahmen:

- Dieselmotoren in Gabelstaplern: teilweise mit Rußfilter,
- Dieselmotoren in Zugmaschinen: bei neuen Geräten in der Regel mit Rußfilter,
- Dieselmotoren in Lkw: entsprechend den gesetzlichen Regelungen für den Straßenverkehr (StVZO, Europäische Normung; Rußfilter derzeit nicht vorgeschrieben), beim Ein- und Ausfahren aus Lagerhallen gelegentlich mit Aufsteckfilter,
- Hallenbelüftung (natürliche oder technische Lüftung),
- Verwendung von Stetigförderern.

Querempfindlichkeiten: Querempfindlichkeiten durch organische Stäube sind denkbar beim Transport von staubenden Schüttgütern (z. B. Futtermittel, Getreide), aber auch bei sonstigen Gütern durch Abrieb des Transportgutes oder des Verpackungsmaterials (z. B. Papierstaub, Holzstaub). Der Einfluss von Querempfindlichkeiten durch Ruß aus dem Reifenabrieb ist bislang nur für den Straßenverkehr untersucht worden [19]. Untersuchungen an Flurförderzeugen liegen noch nicht vor.

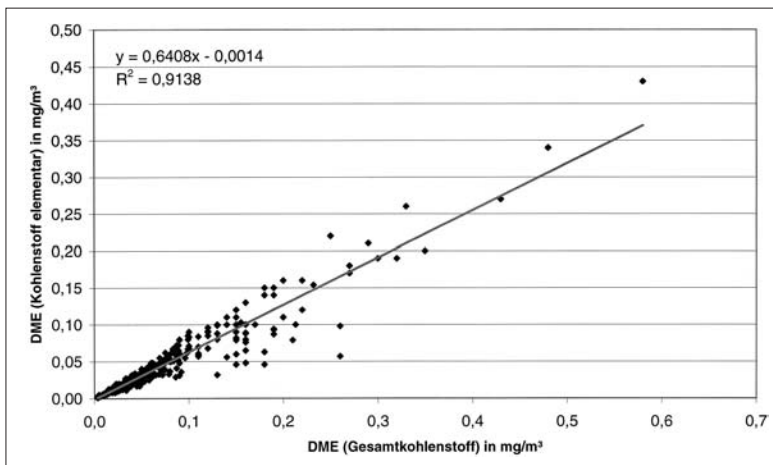


Bild 2 | Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Lagern, Lagerarbeiten“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositionsdauer ≥ 6 h).

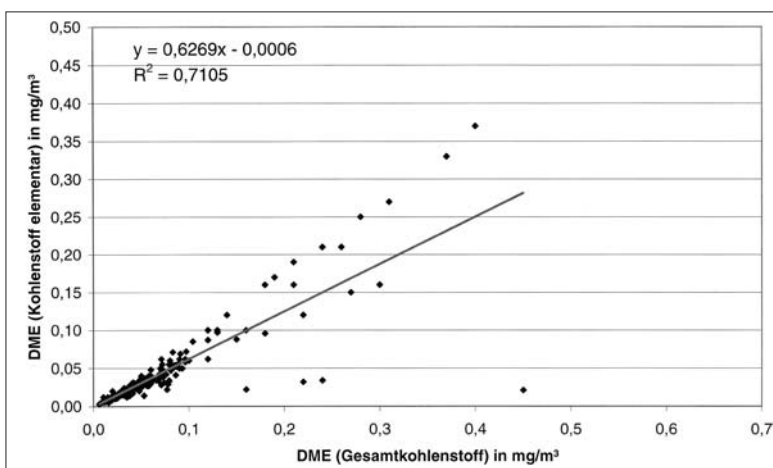


Bild 3 | Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Innerbetrieblicher Transport“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositionsdauer ≥ 6 h).

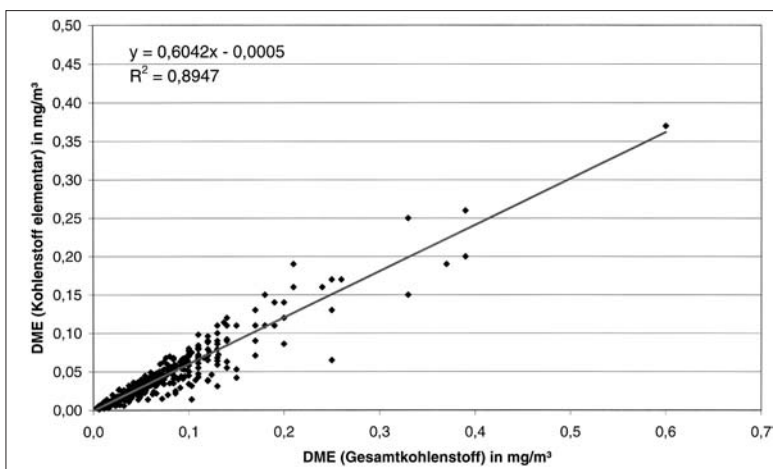


Bild 4 | Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Flurförderzeuge“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositionsdauer ≥ 6 h).

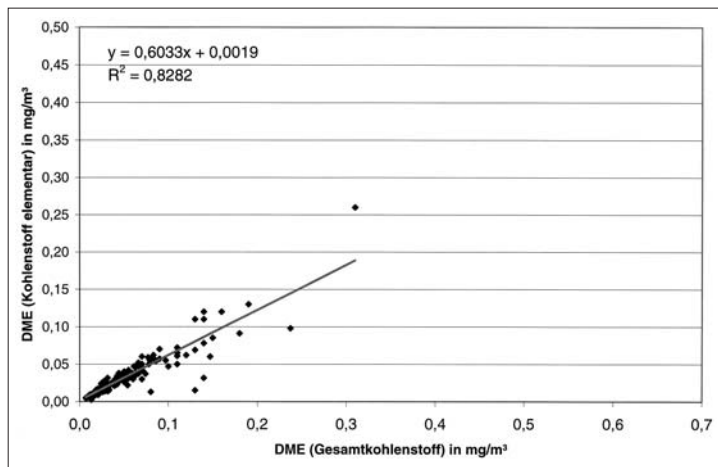


Bild 5 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Reparatur und Wartung“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositions-dauer ≥ 6 h).

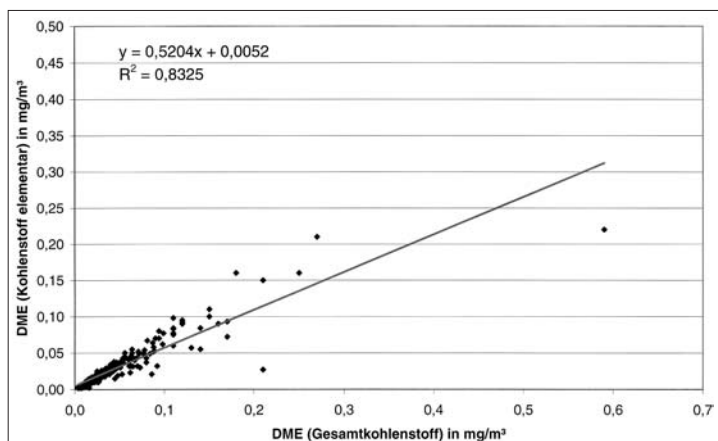


Bild 6 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Prüfstand“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositions-dauer ≥ 6 h).

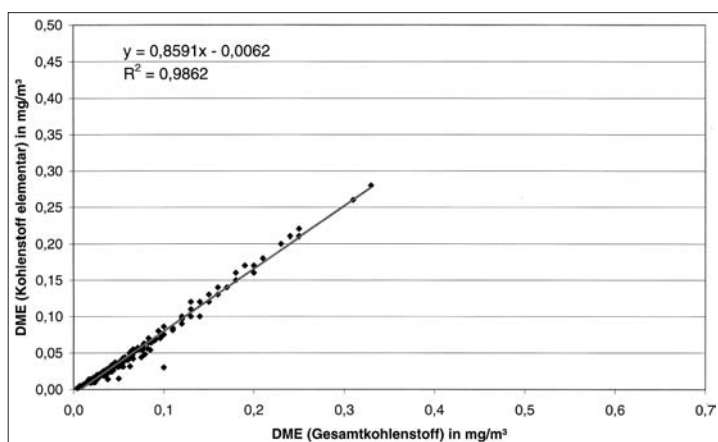


Bild 7 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Durchlauf-Wartung“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositions-dauer ≥ 6 h).

4.2 Arbeitsbereich Reparatur und Wartung

Einsatzbereiche: Reparatur und Wartung von Pkw mit Dieselmotoren (siehe auch Tabelle 1 und 2 sowie **Bild 5**).

Transportwege: Fahrzeugbewegungen in der Kfz-Werkstatt.

Fahrzeuge: Pkw mit Dieselmotoren.

Arbeitsbereiche: Kfz-Werkstätten, in denen Pkw instandgehalten, d. h. inspiziert, gewartet und instandgesetzt werden. Motor- und Getriebereparaturen, Karosserie- und Einstellarbeiten am Motor inkl. Abgasuntersuchungen (AU).

Exponierte Beschäftigte: Kfz-Mechaniker.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Die Exposition tritt durch Dieselmotorabgase bei den Ein- und Ausfahrten bzw. beim Wechseln der Stellplätze auf.

Emissionsmindernde Maßnahmen: Ausrüstung mit Lüftungsanlagen oder Absauganlagen, die bestimmungsgemäß verwendet werden bzw. natürliche Hallenlüftung.

Querempfindlichkeiten: Motorabgase von Ottomotoren, Betriebsstoffe, Hilfsstoffe, Stäube.

4.3 Arbeitsbereich Prüfstand

Einsatzbereiche: Abgasprüfungen an Fahrzeugen im Stand (Abgasuntersuchung) (siehe auch Tabelle 1 sowie **Bild 6**).

Transportwege: Die zu prüfenden Fahrzeuge werden mit eigenem Fahrtrieb zum Prüfstand und wieder heraus gefahren. Transportvorgänge mit Ladung finden nicht statt.

Fahrzeuge: Es handelt sich um Lkw, Busse und Pkw mit Dieselmotor. Die Leistungen der Motoren liegen etwa zwischen 40 kW und 350 kW.

Arbeitsbereiche: Die Prüfstände für die Abgasuntersuchung befinden sich aufgrund der Lärmentwicklung in Räumen, die mindestens teilweise geschlossen sind. Die Erfassungseinrichtung des Prüfgerätes wird in den Auspuff gesteckt. Dahinter wird ein Erfassungstrichter für die Abgasabsaugung gestellt, der an eine Absauganlage angeschlossen ist. Während der Durchführung der Prüfung wird die Abgasabsaugung betrieben.

Exponierte Beschäftigte: Der Prüfer und ggf. weitere sich im Prüfraum aufhaltende Personen.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Exposition tritt nur beim Betrieb des Dieselmotors auf, d. h. während der Durchführung der Prüfung und bei der Ein- und Ausfahrt aus dem Prüfbereich.

Emissionsmindernde Maßnahmen: Auslegung und Verwendung einer Abgasabsaugung bei den Prüfarbeiten mit laufendem Dieselmotor. Die Erfassungseinrichtung der Abgasabsaugung muss so gestaltet und angeordnet werden, dass die Abgase weitgehend vollständig erfasst werden; siehe hierzu TRGS 554 Nr. 4.6.4.3. Hallenlüftung natürlich oder technisch.

Querempfindlichkeiten: Querempfindlichkeiten sind nicht bekannt. Denkbar wären sie durch Ölnebel, wenn im Prüfraum gleichzeitig andere Instandhaltungsarbeiten mit Freisetzung von Ölnebel oder Kraftstoffnebel erfolgen.

4.4 Arbeitsbereich Durchlauf-Wartung

Einsatzbereiche: Wartungsarbeiten an Omnibussen zum Fahrfertigmachen nach dem täglichen Einsatz. Beinhaltet das Betanken, Waschen, Kontrollieren und Nachfüllen der Betriebsstoffe und Maßnahmen zur Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft wie z. B. Wechsel von Glühbirnen oder von Reifen. In der Durchlauf-Wartung werden keine Instandsetzungsarbeiten und Arbeiten bei laufendem Motor ausgeführt (siehe auch Tabelle 1 und 2 sowie **Bild 7**).

Transportwege: Die Omnibusse fahren mit dem eigenen Dieselmotor in die Wartungshalle hinein und wieder hinaus.

Fahrzeuge: Es handelt sich um Omnibusse mit Dieselmotor. Die Leistungen der Motoren liegen zwischen etwa 150 bis 200 kW.

Arbeitsbereiche: Die Wartungsarbeiten finden in einer mindestens teilweise geschlossenen Wartungshalle statt. Häufig werden die Wartungsarbeiten auf Arbeitsgruben durchgeführt, die im Durchfahrbetrieb genutzt werden. Die Fahrzeugwäsche wird mit automatischen Waschanlagen vorgenommen, die im gleichen Raum oder in einem baulich abgetrennten Bereich angeordnet sind.

Exponierte Beschäftigte: Wartungsmitarbeiter und Rangierfahrer.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Exposition tritt nur beim Betrieb des Dieselmotors auf, d. h. bei der Ein- und Ausfahrt aus dem Wartungsbereich. Die Exposition ist wegen des Startvorganges und der Beschleunigung beim Ausfahren höher als beim Einfahren. Rangierarbeiten finden in aller Regel aufgrund des Durchfahrkonzeptes nicht statt.

Emissionsmindernde Maßnahmen: Im Betankungs- und Wartungsbereich erfolgt die Abgasabsaugung über Schlitzabsaugungen längs der Fahrspur oder über auf den Auspuff aufgesetzte vom Omnibus mitgeschleppte Absaugschläuche; siehe TRGS 554 Nr. 4.6.4.2. Im Waschbereich sind mitgeschleppte Abgasabsaugschläuche aufgrund des Einsatzes der Waschmaschine an der Außenhaut der Busse nicht möglich. Sofern in der Waschhalle während der Durchfahrt der Busse Arbeitsplätze angeordnet sind, die nicht baulich vom Waschbereich abgetrennt sind, erfolgt die Abgasabsaugung durch Schlitzabsaugungen längs der Fahrspur, mindestens im Bereich der Anfahrposition. Hallenlüftung natürlich oder technisch; siehe TRGS 554 Abs. 2 Nr. 4.6.4.2.

Querempfindlichkeiten: Querempfindlichkeiten sind nicht bekannt. Denkbar wären sie durch Ölnebel, wenn gleichzeitig andere Instandhaltungsarbeiten mit Freisetzung von Ölnebel im Wartungsbereich erfolgen. Die beim Tankvorgang durch das Aufschäumen des Dieselmotorkraftstoffes freiwerdenden Kraftstoffnebel sind als Querempfindlichkeit nicht relevant.

4.5 Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau)

Einsatzbereiche: Gleislosfahrzeuge werden im untertägigen Bergbau eingesetzt in

- Gewinnungsbetrieben,
- Versatzbetrieben,
- Betrieben zur Einbringung von Abfällen.

Diese Einsatzbereiche liegen z. T. in einem Grubengebäude nebeneinander. In Gewinnungsbetrieben werden Schüttgüter zyklisch durch das Grubengebäude gefördert, wobei u. U. größere Höhenunterschiede bewältigt werden müssen.

In Versatz- und Einlagerungsbetrieben werden Paletten oder Big-Bags, aber auch Schüttgüter und Container meist auf einem Sohlenniveau transportiert und umgeschlagen (siehe auch Tabelle 1 und 2 sowie Bild 8).

Transportwege: Vollgut- und Leergutfahrten treten alternierend zwischen den Kipp-/Ladestellen auf, wobei in Gewinnungsbetrieben Streckenabschnitte mit einer einfachen Weg-

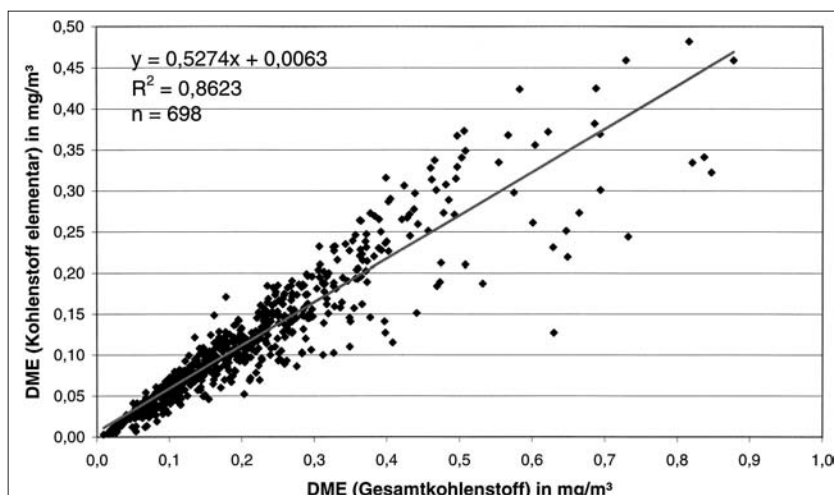


Bild 8 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau)“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer \geq 2 h, Expositionsdauer \geq 6 h).

länge von bis zu 1 500 m durchfahren werden. In Versatz- und Einlagerungsbetrieben erfolgen selten Transporte über größere Distanzen.

Fahrzeuge: Elektro- und Dieselfahrzeuge. Zahlreiche Fahrzeugarten sind berücksichtigt:

- Rad- und Fahrschauellader,
- Vortriebsfahrzeuge (Bohrwagen und Schrämfahrzeuge),
- Niederflur-Plattformtransportfahrzeuge,
- Befahrungsfahrzeuge,
- Muldenkipper,
- Sprengfahrzeuge,
- Gabelstapler,
- Vielzweckfahrzeuge,
- Grader und Sohlenfräsen,
- Beraubefahrzeuge.

Die Transportkapazitäten erreichen Nutzlasten bis zu 40 000 kg.

Arbeitsbereiche: Das Grubengebäude umfasst Strecken, Abbauorte, Werkstätten und Schachtbetriebe. Die im Abschnitt Fahrzeuge genannten Geräte treten in der Regel in allen Arbeitsbereichen auf.

Exponierte Beschäftigte: Alle untertägig Beschäftigten, da DME-Vorbelastungen bereits ab dem Bereich des Einziehschachtes auftreten.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Die Exposition der Fahrzeugführer reicht von arbeitszyklusbezogenen Schichtabschnitten (periodisch z. B. bei Einsatz von Bohrwagen: im Überführungsbetrieb dieselmotorisch betrieben, Bohrbetrieb vor Ort elektrisch) bis zur gesamten Schichtdauer. Die Arbeiten sind bis zu dreischichtig belegt. Expositionsspitzen treten vor allem in Rampenbetrieben bergauf unter voller Nutzlast und bei kleinräumigem, vielfach wiederholtem Lade-/Kippbetrieb in der Mineralgewinnung auf.

Emissionsmindernde Maßnahmen: Wesentliche Voraussetzung für den Betrieb von dieselbetriebenen Fahrzeugen unter Tage ist die u. a. auf die installierte Leistung der Gleislosfahrzeuge ausgelegte definierte Wetterführung mit Frischwettern und Abwettern. Schadstoffarme Motoren und schadstoffarmer Kraftstoff sowie Rußfilter und Fahrerkabinen mit partikelfil-

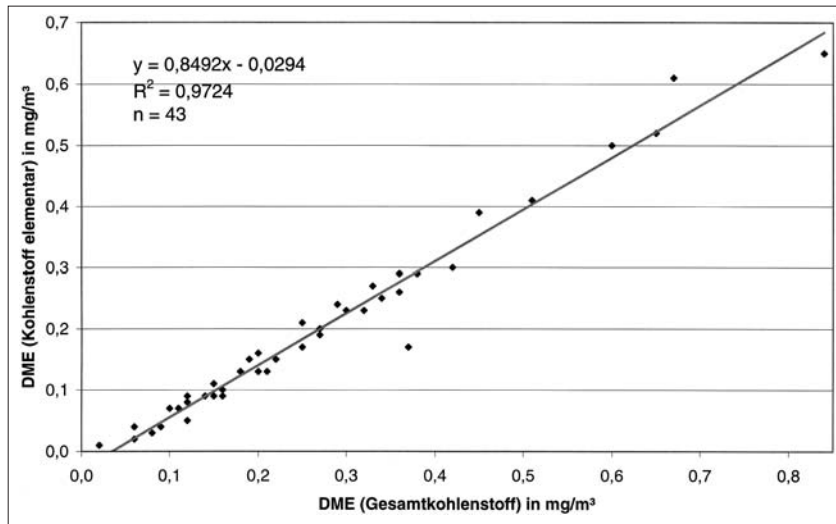


Bild 9 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für den Arbeitsbereich „Bauarbeiten unter Tage“ für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositionsdauer ≥ 6 h).

trierter Luftversorgung sind anzutreffen, aber unterschiedlich verbreitet.

Querempfindlichkeiten: Rauchen der Beschäftigten und vereinzelt durch den Einsatz von Graphitspray. In der Regel konnten diese Querempfindlichkeiten bei den Messungen unterdrückt werden. Reifen- und Förderbandabrieb bilden weitere denkbare Querempfindlichkeiten. Carbonatische Querempfindlichkeiten werden durch Säurebehandlung der Filter vermieden.

4.6 Arbeitsbereich Bauarbeiten unter Tage

Eingesetzte Geräte und Fahrzeuge: Bei den unter Tage eingesetzten Baumaschinen handelt es sich überwiegend um folgende Geräte:

- Bagger,
 - Lader,
 - Hebebühnen,
 - Bohrgeräte,
 - Spritzbetonmaschinen,
- und folgende Fahrzeuge:
- Dumper (Förderfahrzeuge),
 - Transportbetonmischer,
 - Kleinfahrzeuge (Traktoren, Pkw, Kleintransporter).

Diese Geräte und Fahrzeuge dienen ausschließlich dem Tunnelvortrieb. Nach TRGS 554 müssen alle für Lösen, Laden und Transport eingesetzten Geräte und Fahrzeuge sowie Transportbetonmischerfahrzeuge, mit Ausnahme der überwiegend im öffentlichen Verkehr eingesetzten, mit einem Dieselpartikelfilter ausgerüstet sein. Abgesehen von den Schwierigkeiten bei der Umsetzung dieser Vorschrift in der Anfangsphase kann man heute davon ausgehen, dass diese Bestimmung von der Bauindustrie fast ausnahmslos eingehalten wird (siehe auch Tabelle 1 und 2 sowie **Bild 9**).

Arbeitsplätze der exponierten Beschäftigten: DME wurden ausschließlich in den Arbeitsbereichen der Vortriebsmannschaften gemessen, wobei die Arbeitsplätze bis zu ca. 3 km von der nächsten Lüftungsöffnung (in der Regel dem Tunnelportal) entfernt lagen. Die Arbeitsbereiche sind ohne Ausnahme künstlich belüftet. An den belasteten Arbeitsplätzen

ist pro eingesetztem Dieselkraftwagen eine Zuführung von mindestens 4 m^3 Frischluft pro Minute vorgeschrieben. Dieser Wert wird aus unterschiedlichen Gründen nur in wenigen Fällen voll erreicht.

Zeitlicher Expositionsverlauf: Exposition gegenüber DME besteht für die Vortriebsmannschaft über die gesamte Schicht. Die Vortriebsarbeiten erfolgen bei täglich zwei Arbeitsschichten im Durchlaufbetrieb (Dekadenbetrieb: zehn Tage Arbeit, fünf Tage frei), wobei die Expositionszeit für den einzelnen Mineur in der Regel zehn Stunden beträgt. Der Expositionsverlauf ist großen Schwankungen unterworfen. Gemessen wurde jeweils ein Abschlag:

- Lösen des Gesteins aus dem Gebirgsverband durch Sprengung, Laden -und Abtransport des Gesteins,
- Sichern des ausgebrochenen Hohlraumes durch Verbau und Spritzbeton,
- Bohren von Gebirgsankern und
- Nebenarbeiten.

Die Abschlagslänge beträgt je nach Gebirgsverhältnissen zwischen 0,8 und 2,0 m. Dieser Arbeitsablauf wiederholt sich kontinuierlich, so dass mit der Messung über einen Abschlag die Gesamtexposition repräsentativ für eine Arbeitsschicht ermittelt werden konnte.

Querempfindlichkeiten: Querempfindlichkeiten sind bei diesen Arbeiten nicht bekannt.

5 Expositionsdaten

In den Tabellen 1 und 2 sind jeweils die 50%- und 90%-Werte der Exposition gegenüber DME für die in Abschn. 4 beschriebenen Arbeitsbereiche zusammengestellt.

In Tabelle 1 wurde der Zeitraum von 1994 bis 2000 aufgeführt, weil erst ab 1994 eine parallele Bestimmung von EC und TC erfolgte. Somit können Messergebnisse in Bezug auf den Grenzwert bis 1997 (relevante Messgröße: TC) und ab 1997 (relevante Messgröße: EC) betrachtet werden. Zu bedenken ist, dass für den Nichtkohlebergbau und Bauarbeiten unter Tage der höhere Grenzwert von 0,6 bzw. 0,3 mg/m^3 Gültigkeit hatte bzw. hat. Um einen Schichtbezug sicherzustellen, wurden nur Messergebnisse mit einer Probenahmedauer von mindestens zwei Stunden und einer Expositionsdauer von mindestens sechs Stunden in den Auswertungen berücksichtigt [20]. Des Weiteren ist in Tabelle 2 ein Vergleich der DME-Expositionen verschiedener Arbeitsbereiche für die Zeiträume 1990 bis 1993 und 1994 bis 2000 aufgeführt. Da vor 1994 nur der TC im A-Staub ermittelt wurde, wird der Vergleich auf diese Messgröße beschränkt. Die Zusammenstellung der Arbeitsbereiche weicht teilweise von der in Tabelle 1 ab, da sich diese an den für den Zeitraum von 1990 bis 1993 verfügbaren Daten orientieren musste.

Als relevante Größe bei der Beurteilung einer Exposition gegenüber DME sollte zusätzlich auch das Verhältnis von EC zu TC betrachtet werden. Bei Arbeitsplatzbeurteilungen nach Vorgabe des Anhangs 27 der TRGS 901 ist dies sogar notwendig.

Bei typischen DME beträgt der Anteil des EC am TC etwa 60 %. Im Warmlauf bzw. in der Startphase von Dieselmotoren

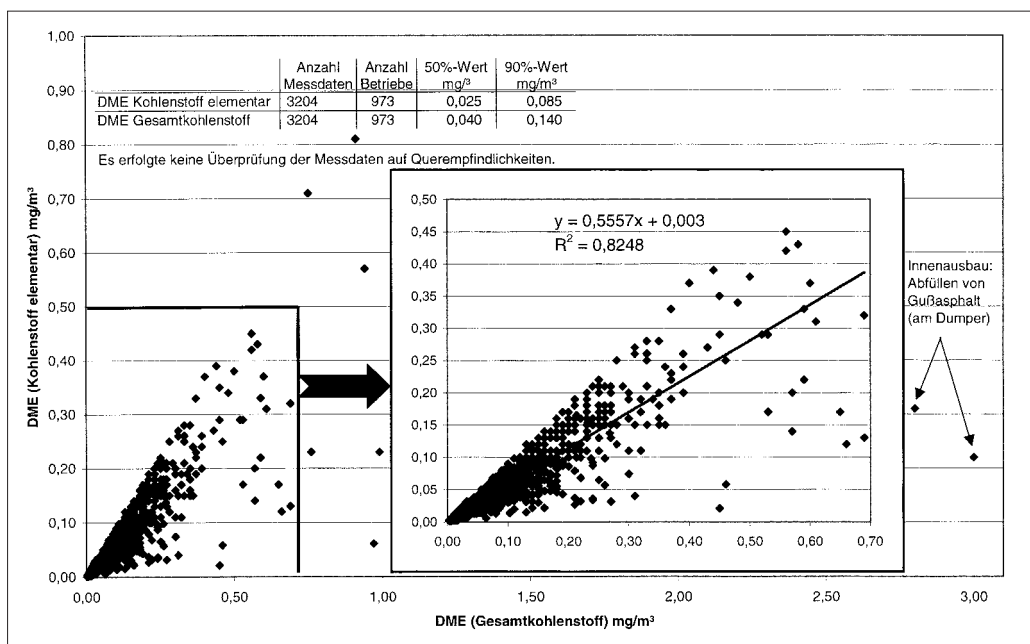


Bild 10 Verhältnis von DME (Kohlenstoff elementar) zu DME (Gesamtkohlenstoff) aller ausgewerteten Messergebnisse für die obertägigen Arbeitsbereiche für den Zeitraum 1994 bis 2000 (Probenahmedauer ≥ 2 h, Expositionsdauer ≥ 6 h).

kann der Anteil aber auch deutlich darunter liegen. Eine Verschiebung des Verhältnisses zu einem niedrigeren EC-Anteil ist allerdings häufig mit Querempfindlichkeiten durch organische Verbindungen (z. B. Kraftstoffdämpfe oder Ölaerosole) verbunden.

In den Bildern 2 bis 9 ist für verschiedene Arbeitsbereiche das Verhältnis von EC zu TC aufgetragen. Die Verteilung der Daten in den Grafiken gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen ein recht einheitliches Verhältnis von EC zu TC vorliegt (z. B. Durchlauf-Wartung oder Bauarbeiten unter Tage) bzw. eine größere Streuung auf mögliche Querempfindlichkeiten hinweist (z. B. innerbetrieblicher Transport). Eine Gesamtübersicht der Daten gibt **Bild 10**. Aufgrund unterschiedlicher Grenzwerte für obertägige und untertägige Bereiche sind die Messergebnisse der untertägigen Arbeitsbereiche nicht enthalten (siehe separate Darstellung in den Bildern 8 und 9).

6 Diskussion

Wegen der Vielfalt der behandelten Arbeitsbereiche erfolgen Interpretation und Diskussion der Ergebnisse für die Arbeitsbereiche getrennt.

6.1 Lager- und Verladearbeiten, innerbetrieblicher Transport, Flurförderzeuge

Vergleicht man die Messdaten zu DME aus den Jahren 1990 bis 1993 mit denen aus den Jahren 1994 bis 2000, erkennt man im Mittel eine Halbierung der DME-Expositionen. Dies ist auf die zunehmenden emissionsmindernden Maßnahmen (z. B. Ausrüstung von Gabelstaplern mit Partikelfiltern, Wartungskonzepte für Dieselmotoren etc.) nach Veröffentlichung der TRGS 554 im Jahre 1993 zurückzuführen.

Für die Zukunft ist in vielen Arbeitsbereichen von einem weiteren Rückgang der DME-Belastung auszugehen, wenn dort z. B. moderne Raumlüftungskonzepte wie die Schichtlüf-

tung [21] Eingang finden. Anwendungen der Schichtlüftung im Zusammenhang mit Flurförderzeugen werden derzeit von der BG Nahrungsmittel und Gaststätten verfolgt. Als Hilfsmittel für die Entwicklung technischer und organisatorischer Maßnahmen zur Emissionsminderung können ferner die neuen direkt anzeigenden DME-Sensoren eine Rolle spielen [22].

6.2 Reparatur und Wartung

Die Auswertung der Messwerte zeigt, dass in diesem Arbeitsbereich in aller Regel mit einer Einhaltung des Luftgrenzwertes zu rechnen ist. Der 90%-Wert liegt mit 0,058 mg/m³ bei 58 % des Luftgrenzwertes von 0,1 mg/m³. Auch in diesem Arbeitsbereich hat die Einführung der TRGS 554 mit den dort spezifizierten Arbeitsschutzmaßnahmen zu einer deutlichen Reduzierung der Exposition um etwa 40 % geführt. Wesentliche Abweichungen vom üblichen Verhältnis des Anteils von elementarem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff haben sich in diesem Arbeitsbereich nicht gezeigt. Es ist jetzt eine wirksame Reduzierung der DME-Exposition erreicht, wenn die notwendigen Schutzmaßnahmen nach TRGS 554 ausgeführt worden sind.

6.3 Prüfstand

Mit den in der TRGS 554 beschriebenen Absaugmaßnahmen kann auch in den Prüfbereichen von Werkstätten, in denen z. B. die Abgasuntersuchung an Dieselmotoren durchgeführt wird, eine wirksame Minimierung der DME erreicht werden. Der 90%-Wert der DME-Konzentration (EC) liegt mit 0,055 mg/m³ bei 55 % des Luftgrenzwertes. Da im Zeitraum von 1990 bis 1993 nur wenige Messungen in diesem Arbeitsbereich durchgeführt wurden, war eine vergleichende Auswertung der historischen Entwicklung nicht möglich.

Für die Durchführung der Abgasuntersuchung müssen die Dieselmotoren auf Betriebstemperatur gebracht werden. Dies wird üblicherweise durch Leerlaufbetrieb der Motoren am

Prüfplatz vorgenommen. Durch diese Warmlaufphase liegt in diesem Arbeitsbereich ein geringfügig erhöhter Anteil an organischem Kohlenstoff vor, so dass sich ein entsprechend reduziertes Verhältnis von EC zu TC zeigt.

6.4 Durchlauf-Wartung

Der Arbeitsbereich Durchlauf-Wartung ist in Omnibus-Betriebshöfen der Verkehrsbetriebe anzutreffen. Arbeiten zur Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft der Omnibusse werden dort in den Nachtstunden unmittelbar nach Einrücken der Busse durchgeführt. Die Motoren der Busse sind betriebswarm, so dass im Abgas der Dieselmotoren nur ein verhältnismäßig geringer Anteil an OC vorliegt. Der Anteil von EC am TC liegt mit etwa 0,86 um 56 % über dem üblicherweise zu erwartenden Anteil.

Die Auswertung zeigt auch, dass die in der TRGS 554 festgelegten Lüftungs- und Absaugmaßnahmen durchaus zu einer wirksamen Reduzierung der DME-Exposition geführt haben. Insgesamt sind die Arbeitsplätze in diesem Arbeitsbereich aber immer noch relativ stark belastet. Mit einer weiteren Verbesserung der Arbeitsschutzsituation ist durch die in den nächsten Jahren anstehenden Verschärfungen der verkehrsrechtlich zulässigen Abgasemission zu rechnen. Diese wird eine praktisch flächendeckende Einführung von Rußfiltern an den Omnibussen zur Folge haben. Damit wird die Partikelemission schon weitgehend an der Quelle beseitigt.

6.5 Gleislosfahrzeuge unter Tage (ohne Steinkohlenbergbau)

Bild 8 zeigt, dass im Allgemeinen von einer Einhaltung des gültigen Grenzwertes ausgegangen werden kann. Beim Vergleich der Messdatenkollektive 1990 bis 1993 einerseits und 1994 bis 2000 andererseits fällt auf, dass sich die Perzentilwerten fast nicht unterscheiden (90-%-Wert für EC 1990 bis 1993:¹⁾ 0,221 mg/m³, 1994 bis 2000: 0,226 mg/m³). Diese auf den ersten Blick enttäuschende Bilanz scheint auch den Erfahrungen im Betrieb zu widersprechen, da von einer zunehmenden Implementierung der emissions- und mithin expositions-mindernden Maßnahmen ausgegangen werden kann.

Zwei mögliche Erklärungsansätze bieten sich jedoch an: Zum einen war das Datenkollektiv, das für die Auswertung 1990 bis 1993 verwendet wurde, durch die Auswahl nur solcher Messdaten, für die bereits EC und OC separat und nicht lediglich als Summenwert TC bestimmt worden waren, mit nur vier Betrieben, im Verhältnis zu den 36 Betrieben, die von 1994 bis 2000 untersucht wurden, relativ begrenzt. Damit könnte eine Schieflage (Bias) in den Daten hervorgerufen worden sein. Zum anderen besteht im Untertagebergbau durch die Anpassung der Frischwettermengen an die realen Emissionen die Möglichkeit zur Energiekostenminderung. Dieser Gedanke ist zwar naheliegend, zumal ganz offensichtlich die Grenzwerte eingehalten werden, würde jedoch eindeutig dem Minimierungsgebot widersprechen, da ja verbesserte Emissionsverhältnisse an die Beschäftigten weitergegeben werden sollen. Welche Deutung zutrifft, wird durch weitergehende Untersuchungen geklärt werden müssen.

¹⁾ Im Gegensatz zu den Daten der Dokumentation MEGA liegen die Daten des IGF von untertägigen Arbeitsplätzen bereits auch vor 1994 in EC und OC differenziert vor. In Tabelle 2 wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit jedoch nur die EC-Messergebnisse ausgewertet.

6.6 Bauarbeiten unter Tage

Nach Festlegung des ersten Grenzwertes für DME zeigte sich sehr schnell, dass dessen Einhaltung im Bereich der Bauarbeiten unter Tage allein durch innermotorische Maßnahmen nicht erreichbar war. Aus diesem Grunde hat die Tiefbau-Berufsgenossenschaft 1993 gemeinsam mit den Unfallversicherungsträgern von Österreich (AUVA) und der Schweiz (Suva) das Forschungsprojekt „VERT“ (Verringerung der Emissionen realer Tunnelbaumaschinen) aufgelegt [23]. Die Erkenntnisse aus dem VERT-Projekt bildeten die Grundlage für die Umsetzung der in der TRGS 554 geforderten Ausrüstung von unter Tage eingesetzten Dieselmotoren mit Partikelfiltern.

Bei der Bewertung und Interpretation des Messkollektives 1997 bis 2000 sind einige Faktoren zu berücksichtigen, die begründen, warum die einzelnen Messwerte und Messergebnisse nicht miteinander vergleichbar sind. Solche Einflussnehmenden Faktoren sind:

- Die jeweils angewandten Arbeitsverfahren.
 - Der Stand der Ausrüstung der Baumaschinen und Fahrzeuge mit Partikelfiltern. Hierbei ist zu beachten, dass nach TRGS 554 Geräte und Fahrzeuge, die überwiegend im öffentlichen Verkehr eingesetzt werden, bei ihrem Einsatz unter Tage nicht mit Partikelfiltern ausgerüstet werden müssen. Dies trifft insbesondere auf Transportbetonmischfahrzeuge, Lieferantenfahrzeuge und Fahrzeuge von Subunternehmern zu, die das unter Tage auf Zwischendeponien abgelagerte Ausbruchmaterial aufnehmen und nach über Tage abtransportieren. Diese nicht mit Partikelfiltern ausgerüsteten Fahrzeuge tragen zu einer erheblichen Belastung der Atemluft mit DME bei. Da eine Änderung dieser Vorschrift zurzeit nicht zu erwarten ist und die nicht unter diese Vorschrift fallenden Fahrzeuge und Geräte mit Partikelfiltern ausgerüstet sind, ist auf absehbare Zeit keine wesentliche Verbesserung zu erwarten.
 - Der richtige Einsatz von Dieselpartikelfiltern. Im Beobachtungszeitraum hat beim Einsatz von Partikelfiltern, deren Regeneration mittels Brennstoff-Additiven erfolgt, in vielen Fällen die Nichtbeachtung der Betriebsvorschriften durch das Baustellenpersonal zum Totalausfall der Filter und damit zu einer weiteren unnötigen Belastung der Atemluft mit DME geführt.
 - Die Tunnelbelüftung. Der wesentlichste Faktor, der die Belastung der Atemluft mit DME und damit auch die vorgelegten Messwerte beeinflusst, ist die Tunnelbelüftung. Gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Bauarbeiten“ und TRGS 554 sind dem untertägigen Bauwerk während der Bauphase je Dieselmotorkraftwagen 4 m³ Frischluft pro Minute zuzuführen. In Bezug auf diese Vorschrift kommt es auf vielen Baustellen zu erheblichen Vollzugsdefiziten. Die Folge davon ist, dass – selbst bei gleich hohen Emissionen – auf den einzelnen Baustellen die Verdünnung und der Abtransport der Schadstoffe sehr unterschiedlich erfolgt und die Belastungen der Atemluft mit DME sehr unterschiedlich ist. Die jeweiligen Lüftungsbedingungen hatten entscheidenden Einfluss auf die einzelnen Messungen.
- Bei der Bewertung der Messdaten ist deshalb zu beachten, dass es sich um Einzelaufnahmen handelt, die jeweils nur den Belastungsstand einer einzelnen Baustelle wiedergeben und nicht auf den gesamten Tunnelbau übertragen werden dürfen. Für den gesamten Tunnelbau sind sie lediglich als Tendenz interpretierbar. Die Messungen haben jedoch gezeigt, dass der Grenzwert für DME (Kohlenstoff elementar) von 0,3 mg/m³ dann eingehalten werden kann, wenn gemäß dem Stand der

Technik gearbeitet wird. Dies zu gewährleisten ist die gemeinsame Aufgabe der Bauindustrie und der überwachenden Behörden.

Literatur

- [1] Blome, H.; Kleine, H.; Mattenkloft, M.: Dieselmotoremissionen: Sicherheitstechnische und arbeitshygienische Informationen. Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 120 270. In: BIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 18. Lfg. VI/92 und 28. Lfg. XII/96. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1985 – Losebl.-Ausg.
- [2] Dieselmotor-Emissionen. In: Greim, H. (Hrsg.): Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. 13. Lfg. 1987. Weinheim: Wiley-VCH 1972 – Losebl.-Ausg.
- [3] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 57–63.
- [4] Ankündigung von Luftgrenzwerten für Trichlorethylen und Dieselmotoremissionen. BArbBl. (2001) Nr. 12, S. 62.
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begründungen und Erläuterungen zu Grenzwerten (TRGS 901), Anhang 27 „Luftgrenzwert für Dieselmotoremissionen“. BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 44–45.
- [6] Anwendung der Grenzwerte für Dieselmotoremissionen (Kennzahl 0468). In: BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 19. Lfg. XI/97. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Dieselmotoremissionen (TRGS 554). BArbBl. (2001), Nr. 3, S. 112–129.
- [8] Wilms, V.: Die aktuelle TRGS 554 – Baustein zur Beurteilung und Minimierung der Exposition gegenüber Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 1/2, S. 30–36.
- [9] Verfahren zur Bestimmung von Kohlenstoff im Feinstaub – anwendbar für partikelförmige Dieselmotor-Emissionen in Arbeitsbereichen. Von den Berufsgenossenschaften anerkannte Analysenverfahren zur Feststellung der Konzentration krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz (BGI 505–44; früher: ZH 1/120.44). Köln: Carl Heymanns 1995.
- [10] Lindecke, B.: Dieselmotoremissionen – Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Kali und Steinsalz 11 (1994) Nr. 7, S. 11.
- [11] Guillemin, M.; Cachier, H.; Chini, C.; Dabill, D.; Dahmann, D.; Diebold, F. et al.: International round robin tests on the measurement of carbon in

diesel exhaust particulates. Int. Arch. Occup. Environ. Health 70 (1997), S. 161–172.

[12] Geräte zur Probenahme der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staub) (Kennzahl 3020). In: BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 21. Lfg. X/98. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.

[13] Bauer, H.-D.; Baumgardt, S.; Berger, D.; Dahmann, D.; Fricke, H.-H.; Schriever, E.: Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz – Probleme beim Vergleich verschiedener Probenahmeverfahren. Staub – Reinhalt. Luft 55 (1995) Nr. 3, S. 103–106.

[14] BIA-Dokumentation MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz). EDV-gestützte Datenbank. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin.

[15] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. Berufsgenossenschaftliches Messsystem Gefahrstoffe der gewerblichen Berufsgenossenschaften BGMG. 4. Auflage. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften – HVBG, Sankt Augustin 1999.

[16] Stamm, R.: MEGA-Databank: One million data since 1972. Appl. Occup. Environ. Hyg., 16 (2000) Nr. 2, S. 159–163.

[17] Schlüsselverzeichnisse für die Dokumentation von Mess- und Betriebsdaten (Kennzahlen 4050 bis 4291). 26. Lfg. III/01. In: BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.

[18] Andrejs, B.; Dietschmann, J.; Eckart, P.; Fehlauer, M.; Neumann, P.; Waga, N.-C.: Emissionen in Verlade- und Lagerhallen. Brauwelt 138 (1998) Nr. 15/16, S. 666–672.

[19] Israël, G.; Pesch, M.; Schlums, C.: Bedeutung des Reifenabriebs für die Rußimmission des Kfz-Verkehrs. Staub – Reinhalt. Luft 54 (1994) Nr. 11, S. 423–430.

[20] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermittlung und Beurteilung der Konzentration gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen (TRGS 402). BArbBl. (1997) Nr. 11, S. 27–33.

[21] Detzer, R.; Dittes, W.: Belüftung von Fabrikhallen; Neue Lüftungskonzepte zur Minderung der Wärme- und Stoffbelastungen. Staub – Reinhalt. Luft 54 (1994) Nr. 4, S. 155–162.

[22] Dahmann, D.; Matter, U.; Mosimann, T.: Der photoelektrische Aerosolsensor (PAS), ein neues direkt anzeigendes Messgerät für Dieselmotoremissionen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 1/2, S. 7–11.

[23] Mayr, A.; Czerwinski, J.; Schneidegger, W.; Wyser-Heusi, M.; Kieser, D.; Weidhofer, J.: VERT – Verminderung der Deselemission im Tunnelbau. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998) Nr. 1/2, S. 25–32.

Aus der Arbeit des AGS

Ankündigung von Luftgrenzwerten für Trichlorethylen und Dieselmotoremissionen

Nach einer Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung (BMA) im Bundesarbeitsblatt (2001) Nr. 12, S. 62 beabsichtigt der Unterausschuss V „Luftgrenzwerte“ (UA V) des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS), den Luftgrenzwert für Dieselmotoremissionen zu überprüfen und für Trichlorethylen (Trichlorethen, TRI) einen Luftgrenzwert nach dem Stand der Technik (technikbasierter Luftgrenzwert) festzulegen. Die Neufestsetzung des Grenzwertes für Trichlorethylen ist erforderlich, weil die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft – DFG die Aufhebung des Grenzwertes in der MAK- und BAT-Werte-Liste 1996 bekannt

gegeben und den Stoff als krebserzeugend in die Kategorie 1 eingestuft hat. Eine Übernahme der Bewertung in die TRGS 905 wird derzeit im AGS beraten.

Die Festsetzung der Luftgrenzwerte erfolgt auf der Basis des seit 1997 angewendeten Grenzwertekonzeptes [1; 2] unter Zugrundelegung der Ableitungskriterien [3] gemäß TRGS 102. Das heißt, die Festlegung des Grenzwertes basiert maßgeblich auf Arbeitsplatzmessergebnissen, die dem UA V vorgelegt werden.

Alle Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, die Umgang mit Trichlorethylen haben bzw. in deren Arbeitsbereichen Dieselmotoremissionen auftreten können, sowie Stellen (beispielsweise Aufsichtsbehörden, Arbeitsschutzinstitutionen, Verbände), die über entsprechende Daten verfügen, werden gebeten, dem UA V des AGS Expositionsdaten (Messergebnisse) nach dem Stand der Technik sowie arbeitsmedizinische Erfahrungen mitzuteilen: Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Herrn Dr. Martin Henn,