

MGU-Messprogramm 9178 „Abgase von Dieselmotoren“ am Arbeitsplatz.

Teil 2: Ergebnisse

U. Koch, E. Willer, R. Radtke

ZUSAMMENFASSUNG Der Einsatz von Dieselmotoren ist in der Arbeitswelt weit verbreitet, wodurch Beschäftigte deren Emissionen ausgesetzt sein können. Deutliche Fortschritte in der Abgasreinigungstechnik in Verbindung mit der fortlaufenden Aktualisierung des Maschinen- und Fahrzeugbestandes in Deutschland sowie Aktualisierungen der einschlägigen Arbeitsschutz-Regelungen – allen voran die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 554 – Abgase von Dieselmotoren ließen erwarten, dass die Expositionen am Arbeitsplatz kontinuierlich messbar abnehmen. Um dies zu überprüfen, legten die Unfallversicherungsträger 2014 ein Messprogramm auf, das nicht nur die Dieselrußpartikel, sondern auch gasförmige Bestandteile der Dieselmotorabgase, insbesondere Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid, umfasste. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass in vielen Arbeitsbereichen nur in Ausnahmefällen mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist. Probleme wurden, wenn auch nur sporadisch, in Werkstätten und Wartungsbereichen vorgefunden, in denen tätigkeitsbedingt längere Motorlaufzeiten vorlagen. Grenzwertüberschreitungen ließen sich aber immer auf spezifische Mängel bei den Schutzmaßnahmen zurückführen.

1 Einleitung

In der Ausgabe November/Dezember 2017 wurde in dieser Zeitschrift [1] das Messprogramm (MP) „Abgase von Dieselmotoren“ der Berufsgenossenschaften und Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand vorgestellt. Teil 1 dieser Veröffentlichung beschrieb die verwendeten Messsysteme und Probenahmeparameter sowie die Anzahl der vorgenommenen Analysen in den Bereichen. Nun werden die statistischen Ergebnisse dargestellt.

Abgase von Dieselmotoren bestehen aus verschiedenen Stoffen. Neben dem Rußkern (Dieselmotoremissionen, DME, Kohlenstoff elementar) enthalten sie auch andere partikelförmige Komponenten, organische Verbindungen wie Kohlenwasserstoffe und Aldehyde sowie die Gase Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickstoffoxide, Schwefeldioxid u. a. [2].

Im September 2017 wurde im Gemeinsamen Ministerialblatt ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Dieselmotoremissionen (Dieselrußpartikel, als EC, elementarer Kohlenstoff, hier kurz DME) von $0,05 \text{ mg/m}^3$ veröffentlicht [3]. Das heißt konkret: Wenn der AGW eingehalten wird, sind im Allgemeinen keine akuten oder chronischen Auswirkungen auf die Gesundheit von Beschäftigten zu erwarten. Damit liegt bei Einhaltung des AGW für DME keine krebserzeugende Tätigkeit nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 906 vor [4].

MGU measuring program 9178 „Exhaust gases from diesel engines“ at the workplace. Part 2: Results

ABSTRACT Many employees are regularly exposed to emissions from diesel engines. Significant progress in exhaust emissions control technology, together with continuous renewal of Germany's machinery and vehicle stock and stricter occupational safety and health regulations, have led to the expectation that workplace exposures are decreasing continuously and measurably. To determine whether this is the case, the German Social Accident Insurance Institutions launched a measurement campaign in 2014 that covered not only diesel soot particles but also gaseous components of diesel engine exhaust gases, above all nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂). The results suggest that in many working areas, the exceeding of limit values need be anticipated only under exceptional circumstances. Specific problems were observed, albeit only sporadically, in workshops and maintenance areas in which the activity performed necessitated longer engine running times. Violations of the limit values could however always be attributed to specific deficiencies in the concept for protective measures.

2 Material und Methoden

2.1 Messprogramm 9178 „Abgase von Dieselmotoren“

Im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) [5] wurde im Zeitraum von August 2014 bis Dezember 2017 das o. g. Messprogramm durchgeführt, um die gegenwärtigen Expositionssituationen an Arbeitsplätzen abzubilden. Arbeitsplatzmessungen durch die Messtechnischen Dienste der Berufsgenossenschaften und Unfallkassen erfolgten in 111 Betrieben an 309 Messorten. Dokumentiert sind die Expositionsdaten in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ [6]. Im genannten Zeitraum wurden repräsentative Arbeitsplatzmessungen in verschiedenen Arbeitsbereichen durchgeführt. Arbeitsbereiche des Baugewerbes sind nicht vertreten. Für die Betrachtung dieser Arbeitsbereiche sei auf entsprechende Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift verwiesen [7].

2.2 Messsysteme

Zur Bestimmung von DME in der alveolengängigen Staubfraktion wurde das Standardverfahren im MGU nach IFA-Arbeitsmappe Blatt 7050 [8] angewandt. Die stationäre Probenahme erfolgte unter Verwendung des Probenahmesystems PM4 F. Das in der IFA-Arbeitsmappe Blatt 3020 [9] beschriebene Probe-

Tabelle 1. Im Messprogramm eingesetzte Gaswarngeräte und Gasmessgeräte mit den im MGU genannten gültigen Messbereichen.

Gasmessgeräte/ Gaswarngeräte	NO	NO ₂	CO	CO ₂
	Gültige Messbereiche in ppm/Vol%			
CO/CO ₂ -Analysator Fisher-Rosemount NGA 2000			0,5 bis 2 500	0,01 bis 4 Vol%
Dräger Multiwarn II	1 bis 100	0,5 bis 50	2 bis 2000	0,01 bis 25 Vol%
Dräger X-am 5600 * sensorabhängig	0,3 bis 200	0,04 bis 50	6 bis 2000* 1 bis 2000*	0,01 bis 5 Vol%
Dräger X-am 7000	1 bis 100	0,5 bis 50	2 bis 2000	0,01 bis 5 Vol%
NOx-Analysator CLD 700 AL	0,001 bis 100	0,001 bis 100		
NOx-Monitor Eco Physics CLD 844 M	0,025 bis 100	0,025 bis 100		

Tabelle 2. Im MGU verwendete Umrechnungsfaktoren für die folgenden Gase von ppm in mg/m³ aus der GESTIS-Stoffdatenbank (Stand 31. Januar 2020).

Gas	NO ₂	NO	CO ₂	CO
Umrechnungsfaktor	1,91	1,25	1,83	1,16

nahmesystem FSP 10 wurde entsprechend sowohl für personengetragene als auch für stationäre Probenahmen eingesetzt.

Mit wenigen Ausnahmen wurden die Proben mit den sammelnden Probennahmesystemen über eine Dauer von mindestens einer Stunde genommen. Wenn möglich, führte man im Messprogramm parallel zu den sammelnden Probennahmesystemen Messungen der weiteren Abgaskomponenten mit mobilen, direkt anzeigenden Gaswarnsystemen durch.

In **Tabelle 1** sind die im MGU gültigen Messbereiche für die Messung von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) sowie die eingesetzten Gaswarn- und Gasmessgeräte aufgelistet. Diese Messgeräte wurden sowohl für die Kurzzeitmessungen als auch für die Langzeitmessungen eingesetzt. Die unteren Grenzen der gültigen Messbereiche werden im Folgenden bei Auswertungen zu den Gasen als Nachweisgrenzen geführt.

In **Tabelle 2** sind die im MGU für die Gase verwendeten Umrechnungsfaktoren von ppm in mg/m³ aufgelistet. Für die Messung ultrafeiner Partikel (UFP) wurden die Probennahmesysteme TSI CPC 3007, TSI P-TRAK 8525 und DiSCmini eingesetzt.

2.3 Untersuchte Gefahrstoffe

Um die Einheitlichkeit der Messstrategie sicherzustellen, erstellte man eine Handlungsanleitung für die beteiligten messtechnischen Dienste. Als Leitparameter, deren Expositionen bei jeder Probenahme möglichst untersucht werden sollten, wurden folgende Gefahrstoffe festgelegt:

- DME,
- alveolengängige Staubfraktion (A-Staub),
- NO,
- NO₂,
- CO,
- CO₂.

Anlassbezogen wurden weitere Gefahrstoffe zusätzlich gemessen:

- Aldehyde,
- Benzol,
- Ethylbenzol,
- 1,3-Butadien,
- Platin und seine Verbindungen,
- Benzo[a]pyren.

UFP wurden in das Programm aufgenommen, weil die Partikelzahl auf der Emissionsseite seit einiger Zeit reguliert ist (Ab-

gasnormen Euro 6 bzw. VI). Der steigenden Bedeutung dieses Aspekts sollte durch Messungen Rechnung getragen werden.

Ursprünglich war geplant, den Einfluss verschiedener Parameter auf die Exposition der Beschäftigten zu ermitteln. Dazu sollten die während der Messungen an den Arbeitsplätzen eingesetzten Motortypen, -laufzeiten und Abgasreinigungstechnologien möglichst vollständig dokumentiert werden. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass dies in verschiedenen Branchen mit deren komplexen Tätigkeitsprofilen nicht möglich war. Häufig wurden während der Messungen gleichzeitig verschiedene Fahrzeuge oder Maschinen mit unterschiedlichen Kraftstoffarten sowie Abgasnormen betrieben. Außerdem standen mit Blick auf die Fahrzeugtypen nicht alle Angaben zu Partikelfiltern, schadstoffminimierenden Maßnahmen und weiteren motortechnischen Informationen zur Verfügung. Eine Bestimmung von Korrelationen konnte aufgrund der beschriebenen Umstände bei den Messungen nicht erfolgen.

Im Gegensatz dazu war es für den Bereich der Bauwirtschaft möglich, einen direkten Zusammenhang zwischen Abgasklasse und Luft am Arbeitsplatz herzustellen [7].

2.4 Auswahl und Verarbeitung der erhobenen Messwerte

Auswahlkriterien für die statistischen Auswertungen:

- übliche betriebliche Situation oder ungünstige, aber realistische Bedingungen,
- Probenahme repräsentativ für die Expositionsdauer,
- Expositionsbezug vorhanden,
- Standardverfahren im MGU/direktanzeigende Messgeräte (Gaswarngeräte),
- Messwerte nach der dokumentierten Messstrategie im Hinblick auf Schichtmittelwerte oder Expositionsspitzen.

Tabelle 3. Anzahl der Messwerte zu den häufigsten gemessenen und dokumentierten Gefahrstoffen.

Gefahrstoffe	Messstrategie auf	
	Schichtmittelwerte	Expositionsspitzen
A-Staub	326	10
DME	323	10
NO ₂	229	29
CO	218	31
NO	219	29
CO ₂	182	7
Benzo[a]pyren	121	
Benzol	57	
Einatembarer Staub (E-Staub)	45	2
Feine und ultrafeine Partikel	38	
Formaldehyd	27	

Tabelle 4. Anzahl der Messwerte zu A-Staub, DME, CO₂, CO, NO₂ und NO in den häufigsten dokumentierten Arbeitsbereichsgruppen.

Arbeitsbereichsgruppen	A-Staub	DME	NO ₂	NO	CO ₂	CO
Umschlag- und Lagerarbeiten in Logistik und Handel	78	78	56	56	47	56
Reparaturen, Wartungen, Qualitätskontrolle, Prüfstände	59	58	46	46	36	45
Umschlag- und Lagerarbeiten in der Abfallwirtschaft	50	49	34	32	27	32
Fahrzeughallen in der Feuerwehr	25	25	36	34	10	34
Fahrzeughallen	10	10	8	8	10	10
Umschlag- und Lagerarbeiten in weiteren Branchen	21	21	15	16	15	16
Flugverkehr, Flugabfertigung	21	21	14	14	10	14
öffentliche Bereiche, Büro	17	16	10	8	6	8
Pförtnerkabine, Parkhäuser, Zugangskontrollen	17	17	9	7	7	7
Fahrzeuge, Transport	12	12	10	7	4	7
Schifffahrt (Wagendeck)	12	12	8	8	7	8

Kriterien für die statistischen Auswertungen, Bildung branchenübergreifender Arbeitsbereichsgruppen:

- Differenzierung nach Probenahmeart
 - an der Person,
 - stationär (personenbezogen zur Expositionsbeurteilung bzw. Grundlast zur Expositionsbeurteilung).
- Differenzierung nach Messorten
 - im Freien,
 - in Räumen (geschlossen oder teilweise geschlossen).

Randbedingungen der statistischen Auswertungen:

- Kollektive mit weniger als zehn Messdaten werden nicht dargestellt.
- Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG) gehen mit ihrem halben Wert in die statistische Berechnung ein.
- Einige untersuchte Arbeitsbereiche konnten keinem hier gebildeten Kollektiv zugeordnet werden, eine Darstellung dieser Messergebnisse erfolgt hier nicht.
- Die Selektion und Auswertung erfolgte mit der MEGA^{Pro} Auswertungssoftware.

3 Datenlage des Messprogramms

Im Untersuchungszeitraum wurden 3 499 Datensätze zu allen untersuchten Gefahrstoffen dokumentiert. **Tabelle 3** stellt die Anzahl der vorhandenen Daten der am häufigsten nach den Auswahlkriterien für statistische Auswertungen (vgl. Abschnitt 2.4) gemessenen Gefahrstoffe dar. Die Anzahl von Messwerten je Gefahrstoff wird nach der Messstrategie in Hinsicht auf Schichtmittelwerte und Expositionsspitzen differenziert dargestellt.

Der Schwerpunkt der Messungen im Messprogramm lag auf Umschlagarbeiten, Fahrzeughallen (z. B. auch Freiwillige Feuerwehr) sowie Instandsetzungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten. Dies wird auch in der Auflistung der am häufigsten dokumentierten Arbeitsbereichsgruppen, die in **Tabelle 4** nach den Auswahlkriterien für statistische Auswertungen und zur Messstrategie auf Schichtmittelwerte und Expositionsspitzen dargestellt sind, deutlich.

Tabelle 5. Statistische Übersicht zur Expositionssituation der im Messprogramm nach der Messstrategie auf Schichtmittelwerte bemessenen Gefahrstoffe.

Allgemeine Beschreibung	A-Staub	DME	NO ₂	NO	CO ₂	CO
Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in mg/m ³	1,25	0,05	0,95	2,5	9100	35
Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in ppm			0,5	2	5000	30
Anzahl der Luftproben mit Expositionsbezug	326	323	229	219	182	218
Messwerte unterhalb BG bzw. NWG *						
– Anzahl	214	127	120	131	0	181
– Anteil in %	65,6	39,3	52,4	59,8		83
Höchste BG bzw. NWG * in mg/m ³	0,75	0,075	0,96	1,25	Keine Angabe	6,96
Höchste BG bzw. NWG * in ppm			0,5	1		6
Messwerte > AGW						
– Anzahl	1	6	12	7	2	2
– Anteil in %	0,3	2	5	3	1	1
Messwerte bezogen auf AGW nicht beurteilbar (n. b.)						
– Anzahl	0	4	34	0	0	0
– Anteil in %		1	15			
Median in mg/m ³	!	+ 0,0095	!	!	1098	!
95%-Wert in mg/m ³ *	+ 0,21	+ 0,034	+ 0,93	2,04	2562	10,76
Probenahmeart „An der Person“						
– Anzahl	64	64	39	37	31	36
– Anteil in %	20	20	17	17	17	17

* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG), dann geht der Wert der halben BG bzw. NWG in die Statistik ein.

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten Bestimmungsgrenze (BG) bzw. NWG im Datenkollektiv. Die BG bzw. NWG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.

\$ Prozentsatz der Werte kleiner Bestimmungsgrenze (BG), deren BG oberhalb des vorgegebenen AGW liegt. Diese Werte sind nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den AGW.

! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

Tabelle 6. Alle Messwerte nach der Messstrategie auf Schichtmittelwert, differenziert nach Messort.

Messort	Anzahl Messwerte	Anzahl der Werte < NWG/BG * Anzahl in %	Höchste NWG/BG * in mg/m ³	≤ AGW in % \$	> AGW in % \$	AGW n. b. % \$	Konzentrationen in mg/m ³		
							50%-Wert *	90%-Wert *	95%-Wert *
A-Staub ³									
Im Freien	30	22 73,3	0,22	100	0	0	! BG	+ 0,08	+ 0,215
In Räumen	290	189 65,2	0,75	99,7	0,3	0	! BG	+ 0,14	+ 0,207
DME (EC)									
Im Freien	30	14 46,7	0,046	96,7	3,3	0	+ 0,006	+ 0,0155	+ 0,024
In Räumen	287	113 39,4	0,075	97,2	1,4	1,4	+ 0,0095	+ 0,024	+ 0,034
CO									
Im Freien	21	20 95,2	6,96	100	0	0	! BG	! BG	! BG
In Räumen	190	156 82,1	6,96	98,9	1,1	0	! BG	+ 6,96	11,2
CO₂									
Im Freien	16	0	keine Angabe	100	0	0	915	2013	3477
In Räumen	159	0	keine Angabe	99,4	0,6	0	1098	1830	2233
NO₂									
Im Freien	24	10 41,7	0,96	87,5	0	12,5	+ 0,19	+ 0,48	+ 0,48
In Räumen	198	107 54	0,96	78,8	5,6	15,6	! BG	+ 0,48	1,03
N_o									
Im Freien	21	18 85,7	1,25	95,2	4,8	0	! BG	+ 0,63	+ 1,22
In Räumen	191	112 58,6	1,25	97,9	2,1	0	! BG	1,32	1,71

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG), dann geht der Wert der halben BG bzw. NWG in die Statistik ein.
 + Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten Bestimmungsgrenze (BG) bzw. NWG im Datenkollektiv.
 Die BG bzw. NWG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.
 \$ Prozentsatz der Werte kleiner Bestimmungsgrenze (BG), deren BG oberhalb des vorgegebenen AGW (siehe Tabelle 4) liegt. Diese Werte sind nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den AGW.
 ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

4 Expositionsdaten

4.1 Übersicht

Tabelle 5 bietet eine Übersicht über die Ergebnisse statistischer Auswertungen zu Messwerten, die als Schichtmittelwerte ermittelt wurden.

Zu UFP wurden 17 Messungen in 12 Betrieben mit folgenden statistischen Ergebnissen durchgeführt: Median 25 600/cm³; 90%-Wert 150 000/cm³ und 95%-Wert 234 000/cm³.

4.2 Allgemeine Betrachtungen der Expositionssituation

Tabelle 4 zeigt, dass – mit Ausnahme von DME und CO₂ – der Anteil der Messwerte, die unterhalb der BG bzw. NWG liegen, mehr als 50 % beträgt. Die 95%-Werte zu den jeweiligen Gefahrstoffen lagen unter den entsprechenden AGW. Für DME kann bei vier von 323 Messwerten keine sichere Aussage getroffen werden, da die Bestimmungsgrenze dieser Messung von 0,075 mg/m³ über dem AGW von 0,05 mg/m³ lag. In wenigen Fällen wurden Grenzwertüberschreitungen festgestellt (maximal 5 % der gemessenen Werte bei NO₂).

Bei kurzzeitigen starken Emissionen in Verbindung mit schlechten Lüftungsbedingungen wurden diese Expositionsspitzen mit kurzer Probenahmedauer bemessen. Die Kurzzeitwertkonzentrationen nach TRGS 900 wurden nur bei einer NO-Messung überschritten: Hier lag bei einer Abgasprüfstation ein Messwert von 6 mg/m³ NO vor. In diesem Fall war der Abgasabsaugschlauch falsch dimensioniert und ließ sich daher nicht korrekt aufsetzen.

4.3 Messwerte differenziert nach Messort

In diesem Abschnitt werden alle Messergebnisse nach den Kriterien „im Freien“ und „in Räumen“ differenziert. Arbeitsbereiche im Freien gehören gemäß TRGS 554 [10] ausdrücklich zum Geltungsbereich.

In Tabelle 6 werden die Messwerte dargestellt, die als Schichtmittelwert dokumentiert wurden.

In Räumen wurde ca. zehnmals häufiger gemessen als im Freien. Bei Betrachtung der 95%-Werte war bei A-Staub praktisch kein Unterschied zwischen den Außen- und Innenwerten fest-



Bild 1. Lagerhalle.

Quelle: BGHW

stellbar. Für DME (EC) liegt erwartungsgemäß in Räumen eine Tendenz zu höheren Werten vor. CO war im Freien praktisch nicht feststellbar, in Räumen wurde ein 95%-Wert von $11,2 \text{ mg/m}^3$ ermittelt. Die CO_2 -Konzentrationen lagen bis auf eine Ausnahme in Räumen durchgehend unter dem Grenzwert.

Bei NO_2 übersteigt der 95%-Wert in Räumen den Grenzwert leicht. Der 95%-Wert für NO in Räumen und auch im Freien liegt noch deutlich unter dem Grenzwert.

4.4 Untersuchte Arbeitsbereiche und Messergebnisse

Ziel des Messprogramms war es, ein möglichst vollständiges Spektrum von Arbeitsplätzen mit möglicher Belastung durch Abgase von Dieselmotoren zu untersuchen. Aufgrund der Vielseitigkeit und weiten Verbreitung der Dieselmotoren wurden sehr unterschiedliche Arbeitsbereiche untersucht. Um für die statistischen Auswertungen genügend Messwerte zu erhalten, war es erforderlich, verschiedene Arbeitsbereiche zu Gruppen zusammenzulegen. Bei der Zusammenfassung der Bereiche wurde darauf geachtet, dass die Dieselmotoren zu vergleichbaren Zwecken eingesetzt wurden bzw. die Art der Exposition vergleichbar war. In der Gruppe „Reparaturen, Wartungen, Qualitätskontrolle, Prüfstände“ war das verbindende Merkmal beispielsweise, dass die Motoren nicht im Arbeitseinsatz, sondern zur Prüfung der Fahrzeuge liefen. Aus diesen Überlegungen ergeben sich auch teilweise branchenübergreifende Arbeitsbereichsgruppen. Die Arbeitsbereichsgruppen mit den meisten Messwerten sind nachfolgend dargestellt.

4.4.1 Umschlag- und Lagerarbeiten in Logistik und Handel

In den Betrieben des Einzel- und Großhandels, der Lagerwirtschaft, des Transports und weiteren Dienstleistungsbetrieben erfolgten die Gefahrstoffmessungen in den Bereichen von Lagerarbeiten, Sortierungen, Ein- und Auslagerungen, Verpacken und Versand sowie bei Umschlagarbeiten (Be- und Entladen). Die Messungen fanden überwiegend in geschlossenen oder teilgeschlossenen Bereichen statt, da eine relevante Exposition gegenüber den Abgasen von Dieselmotoren dort eher zu erwarten war. Im Freien wurden bei Umschlag- und Lagerarbeiten in Logistik und Handel lediglich einige Messungen an dieselbetriebenen Staplern durchgeführt. Diese Messungen zeigten, dass die Grenzwerte zu den genannten Gefahrstoffen eingehalten wurden.

Bei Umschlag- und Lagerarbeiten in Logistik und Handel unter Einsatz dieselbetriebener Fahrzeuge sind im Wesentlichen die in Hallen (Bild 1) tätige Belegschaft sowie das Fahrpersonal, sofern dessen Fahrzeuge über offene Kabinen verfügen, exponiert. In den sogenannten „Drive-In-Baumärkten“ (teilgeschlossene Hallen, die von der Kundschaft mit deren Privatfahrzeugen be-

fahren werden) ist also zusätzlich zum Firmenverkehr auch der Individualverkehr zu berücksichtigen.

Zu den genannten Gefahrstoffen sind in der branchenübergreifenden Arbeitsbereichsgruppe insgesamt 67 personengetragene und 300 stationäre Messwerte dokumentiert. Die Probenahmen erfolgten sowohl im Freien (sechs Messwerte) als auch in Räumen (361 Messwerte). Für DME und A-Staub sind zu den sammelnden Probenahmesystemen bis auf vier Messwerte Probenahmedauern von ≥ 2 Stunden dokumentiert. Die Messungen wurden hauptsächlich beim Betrieb von überwiegend dieselbetriebenen Flurförderzeugen, Lkw, Transportern oder verschiedenen Pkw durchgeführt. Vereinzelt wurden in verschiedenen Arbeitsbereichen auch gas- und elektrobetriebene Fahrzeuge eingesetzt. Zu den gemessenen Arbeitssituationen gehören auch zum Beispiel:

- Entladearbeiten eines Schiffsladeraums mittels Zugmaschinen und Lkw,
- das klassische Ein- und Auslagern in Regallagern,
- das Entladen von Lkw mit dieselbetriebenen Staplern (mit Partikelfiltern).

In dieser Arbeitsbereichsgruppe kam es nur bei NO_2 -Messungen zu Grenzwertüberschreitungen. Bei Entladearbeiten eines Schiffsladeraums mittels Lkw und Zugmaschinen in einem geschlossenen Raum mit einer offenen Verbindung ins Freie wurde personengetragen ein Messwert von $1,45 \text{ mg/m}^3$ ermittelt. Ein weiterer Wert von $1,62 \text{ mg/m}^3$ wurde bei einer stationären Messung in einer Halle der Lagerwirtschaft gemessen. Während dieser Messung wurde ein Lkw mit einem dieselbetriebenen Stapler, der mit einem Partikelfilter ausgerüstet war, entladen. Gleichzeitig fanden Ein- und Auslagerungen statt. Zeitweise standen zwei geöffnete Außentore zur freien Lüftung offen.

Sowohl für A-Staub als auch für DME waren die Messwerte (16 an der Person und 60 stationär) unauffällig. Für DME lag der 95%-Wert bei personengetragenen Messungen bei $0,028 \text{ mg/m}^3$ und bei stationären Messungen bei $0,039 \text{ mg/m}^3$. Es wurden 47 stationäre Messungen zu Stickoxiden durchgeführt. Für NO_2 lag der 95%-Wert mit $0,48 \text{ mg/m}^3$ unter der höchsten NWG von $0,96 \text{ mg/m}^3$ im Kollektiv. Für NO wurde ein 95%-Wert von $1,31 \text{ mg/m}^3$ ermittelt. Bei den stationären Messungen für CO_2 lag der 95%-Wert bei $1\ 674 \text{ mg/m}^3$ (39 Messwerte), bei CO bei $7,6 \text{ mg/m}^3$ (47 Messwerte).

4.4.2 Reparaturen, Wartungen, Qualitätskontrolle, Prüfstände

In Betrieben eingesetzte Fahrzeuge, wie z. B. Radlader, Busse, Lkw und Lokomotiven, müssen regelmäßig gewartet und ggf. repariert werden. Die Kontrollen der Fahrzeuge können oft als sogenannte Durchlaufwartung erfolgen.

Bei der Durchlaufwartung werden Omnibusse nach dem täglichen Einsatz für den nächsten Tag fahrfertig gemacht (Bild 2). Dabei werden sie betankt, gewaschen, kontrolliert und Betriebsstoffe nachgefüllt. Auch Maßnahmen zur Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft, z. B. der Wechsel von Glühbirnen und kleine Innenreinigungsarbeiten, gehören zur Durchlaufwartung. Die Arbeiten erfolgen in ganz oder teilweise geschlossenen Wartungsbereichen, teilweise unter Einsatz von Waschanlagen. Die meisten Messungen erfolgten bei Kontrollen von Fahrzeugen in Werkstätten, an Hebebühnen, an Prüfständen oder in Prüfhallen. Während dieser Tätigkeiten an überwiegend dieselbetriebenen Fahrzeugen

fanden die Gefahrstoffmessungen in geschlossenen Räumen, die zum Teil über Verbindungen ins Freie oder zu Nebenräumen verfügten, statt. Vereinzelt waren die Fahrzeuge auch mit Diesel-Hybrid-Technik ausgestattet.

Weitere Messungen fanden in Reparaturwerkstätten und an Abgasprüfständen statt. Zu den genannten Gefahrstoffen sind insgesamt 27 personengetragene sowie 251 stationäre Messwerte und jeweils sechs sowohl personengetragene als auch stationäre Messungen mit Expositionsspitzen dokumentiert. Die Probenahmen erfolgten durchgehend in Räumen. Für DME und A-Staub ist zu den sammelnden Probenahmesystemen mit Ausnahme von sechs Messwerten eine Probenahmedauer von ≥ 2 Stunden dokumentiert. Die Dokumentation umfasst insgesamt 870 Fahrzeuge, wie zum Beispiel Busse, Lkw, Radlader und Lokomotiven. Davon hatten 201 meist dieselbetriebene Fahrzeuge eine Erfassung über eine Absaugung. Diese wurde nach Eindruck des jeweiligen Messtechnikers zu ungefähr 83 % bestimmungsgemäß eingesetzt.

In allen Fällen wurden die Gefahrstoffgrenzwerte für DME und A-Staub eingehalten. Bei vier stationären Messungen auf NO liegen Grenzwertüberschreitungen vor. Diese Überschreitungen traten bei Durchlaufwartung (Betanken, Inspektion), Reparatur und Wartung sowie in zwei Fällen auf dem Prüfstand und beim Service auf. Bis auf den Messort in Reparatur und Wartung waren an den gleichen Messpunkten auch die NO₂-Grenzwerte überschritten. Bei einer Messung am Prüfstand und Service wurde der NO₂-Grenzwert um ca. das 17-Fache überschritten. Während die Medianwerte für NO (0,19 mg/m³ mit einer höchsten NWG von 1,25 mg/m³) und NO₂ (0,23 mg/m³ mit einer höchsten NWG von 0,96 mg/m³) niedrig liegen, heben einige hohe Messwerte die 95%-Werte für NO (8,35 mg/m³) und NO₂ (7,7 mg/m³) deutlich an. Bei einer Überschreitung des Grenzwertes von NO durch eine Messung (als Expositionsspitze codiert, Messdauer: 17 Minuten, dokumentierter Messwert: 6,0 mg/m³, Kurzzeitwert: 5 mg/m³) handelte es sich um einen nicht korrekt passenden Absaugtrichter, der durch die Messung erkannt und umgehend ausgetauscht wurde. In einer Kfz-Ausbildungswerkstatt wurden trotz eingesetzter Absaugung und raumlufttechnischer Anlage Grenzwertüberschreitungen für CO₂ und CO festgestellt.

Eine weitere deutlich erhöhte CO-Konzentration trat bei einer Durchlaufwartung auf. Die Messung wurde als „Grundlast zur Expositionsbeurteilung“ mit „ungünstigen, aber realistischen Bedingungen“ codiert. Am Messtag befanden sich in der Wartungshalle zahlreiche Busse, bei denen die mitlaufenden Abgasabsaugungen nicht genutzt wurden oder defekt waren.

4.4.3 Umschlag- und Lagerarbeiten in der Abfallwirtschaft

Bei diesen Umschlag- und Lagerarbeiten werden große Abfallmengen maschinell bewegt. Abfälle können zum Beispiel Restmüll, Papier, Bioabfälle, Glas oder andere Wertstoffe sein. Typische Vorgänge sind:

- Abladevorgänge von z. B. Abfallsammelfahrzeugen oder Absetzkipperfahrzeugen in Anlieferhallen oder Tiefbunker; Fahrzeugmotoren müssen dabei für den Entladevorgang laufen.
- Bewegen von abgeladenen Abfällen innerhalb von Anlagenhallen; dabei werden die Materialien in der Regel von Schaufelradladern geschoben oder mit der Schaufel in Aufgabevorrichtungen für die weitere Bearbeitung gehoben.



Bild 2. Durchlaufwartung, Omnibusse.

Quelle: Claus Gaik, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft

- Für das Umsetzen von angelieferten Materialien kommen auch Bagger zum Einsatz.
- Bewegen von gepressten Abfällen (Wertstoffen) in Ballenform mit Gabelstaplern, die eine spezielle Aufnahmevorrichtung besitzen (Ballenklammer).

Alle Fahrzeuge bzw. Flurförderzeuge werden in der Regel von Dieselmotoren angetrieben. Der Betreiber des Standortes hat nur teilweise Einfluss auf die emittierenden Motoren. Die betriebseigenen Maschinen (Stapler, Radlader) können nach eigenem Ermessen ausgetauscht oder mit Abgasreinigungstechnik nachgerüstet werden. Die Anlieferfahrzeuge (Kundenfahrzeuge) dagegen entziehen sich der betrieblichen Planung. Die Messungen erfolgten sowohl im Freien als auch in geschlossenen und teilweise geschlossenen Räumen.

Zu den genannten Gefahrstoffen sind insgesamt 48 personengetragene und 176 stationäre Messungen dokumentiert. Die Probenahmen erfolgten im Freien (30 Messwerte), in Räumen (184 Messwerte), in geschlossenen Behältern (sechs Messwerte) und an wechselnden Aufenthaltsorten (vier Messwerte) des Versicherten. Für DME und A-Staub sind zu den sammelnden Probenahmesystemen bis auf acht Messwerte Probenahmedauern von ≥ 2 Stunden dokumentiert.

In dieser Gruppe wurde der Grenzwert für A-Staub in einer Baggerkabine überschritten. Dies ist in der Regel auf häufiges Türöffnen (oder gänzlichliches Unterlassen des Türschließens) zurückzuführen, sodass die staubige Luft der Abfallanlieferungshalle in die Kabine dringt. Es liegen zwei Grenzwertüberschreitungen zu DME vor. In einem Fall (0,14 mg/m³) handelte es sich um ein fahrerloses Gerät (Radlader) als Verursacher, das von einer Steuerkanzel per Joystick im Anlieferungsbereich einer Abfallverbrennungsanlage gesteuert wurde. Personen waren hier nicht exponiert. Im zweiten Fall (Radlader im Anlieferungsbereich, 0,09 mg/m³, personenbezogen gemessen) ist von einer relevanten Querempfindlichkeit auszugehen, da in einer Holzaufbereitung (Zellulose) gemessen wurde. Beim Einsatz eines Radladers liegt eine Grenzwertüberschreitung zu NO₂ (1,03 mg/m³) bei einer personenbezogenen Messung vor. Der Radlader lud den transportierten Hausmüll auf das Aufgabeband. Die anliefernden Lkw ließen währenddessen den Motor laufen. Für CO, CO₂ und NO sind die Grenzwerte bei allen Messungen eingehalten.

4.4.4 Fahrzeughallen der Feuerwehr

Es wurde sowohl bei Freiwilligen Feuerwehren als auch bei den Berufsfeuerwehren gemessen. Bei Freiwilligen Feuerwehren werden die Feuerwehrfahrzeuge zu Übungszwecken oder bei einem Einsatz aus den Abstellhallen gefahren und danach wieder rückwärts eingeparkt. Diesen Vorgängen wurde eine eigene

Messreihe gewidmet. Die Messungen erfassten sowohl die Ein- als auch die Ausfahrt. Da sich dabei wegen der Verletzungs- und Unfallgefahr keine Personen in der Fahrzeughalle befinden, wurden nur stationäre Messungen in der Halle vorgenommen und das Messgerät zwischen zwei Fahrzeugen an der Rückwand der Abstellhalle positioniert. So spiegeln diese Werte auch den ungünstigsten Fall wider: Beim Ausfahren und Einparken ist eine Person hinter dem Fahrzeug anwesend oder betritt unmittelbar danach den Bereich. Nach dem Öffnen der Hallentore fuhren alle Fahrzeuge auf den Vorplatz, wo die Motoren warmliefen. Durch die externe Druckerhaltung der Bremsen konnten die Fahrzeuge sofort ausfahren. Nur in einem Fall war eine Druckerhaltung der Bremsen nicht funktionsfähig, sodass das Fahrzeug zwei bis drei Minuten zum Aufbau der Druckluft mit laufendem Motor in der Halle stehen musste. Hier wurden die höchsten Konzentrationen ermittelt, die ebenfalls in die Auswertung aufgenommen wurden.

Die Fahrzeuge wurden bei offenem Tor gestartet und im Anschluss zügig aus der Fahrzeughalle gefahren. Nach 30 Minuten waren in der Halle NO, NO₂ und CO nicht mehr nachweisbar und die Fahrzeuge wurden im betriebswarmen Zustand wieder rückwärts eingeparkt. Gemessen wurden die DME-Konzentrationen als Schichtmittelwert (Probenahmedauer 2 Stunden pro Schicht). Mit einem direktanzeigenden Gaswarngerät (Dräger X-am 5600) überprüfte man die Einhaltung der Kurzzeitwerte für NO, NO₂ und CO. Alle Messgeräte befanden sich in ca. 1,5 m Höhe. Bei ein bis drei Stellplätzen wurden das Ausfahren und auch das Einparken als Expositionsspitzen ausgewertet.

Die Angehörigen der Freiwilligen Feuerwehr halten sich im Einsatzfall und bei Übungen ungefähr eine halbe Stunde in der Abstellhalle auf. Dabei werden Schläuche aufgerollt, die Fahrzeuge aus- und eingeräumt und kleine Reparaturarbeiten an der Ausrüstung vorgenommen. Bei der Berufsfeuerwehr sind die Aufenthaltszeiten in der Abstellhalle wegen der häufigeren Einsätze länger. Hallen der Berufsfeuerwehren sind üblicherweise für die Durchfahrt konzipiert, haben also vorne und hinten Tore, sodass eine wirksame Querlüftung herzustellen ist.

Der AGW für A-Staub wird deutlich unterschritten. Die Messwerte lagen unter einem Zehntel des Grenzwertes von 1,25 mg/m³. Bei den DME-Konzentrationen lag der 50%-Wert bei 0,0045 mg/m³, der 90%-Wert bei 0,011 mg/m³, der 95%-Wert bei 0,019 mg und damit unter der höchsten BG des Verfahrens von 0,019 mg/m³. Auch hier wird der AGW deutlich unterschritten.

Die AGW von NO₂, NO und CO werden aufgrund der kurzen Expositionszeiten immer deutlich unterschritten. Die Kurzzeitmessungen (15 min Probenahmedauer) ergaben, dass die Kurzzeitbegrenzungen eingehalten wurden. Es wurden jeweils 24 Kurzzeitwerte für CO, NO₂ und NO bei sechs Freiwilligen Feuerwehren bestimmt.

Bei Kurzzeitmessungen (15-Minuten-Messungen) zu CO wurden alle 24 Messwerte unter der NWG (6 ppm) dokumentiert.

Für NO₂-Kurzzeitwerte (höchste NWG: 0,08 mg/m³) lag der 50%-Wert bei 0,09 mg/m³, der 90%-Wert bei 0,42 mg/m³ und der 95%-Wert bei 0,48 mg/m³. Der Kurzzeitwert (Überschreitungsfaktor 2 (I)) liegt bei 1,9 mg/m³.

Für NO-Kurzzeitwerte (höchste NWG: 0,38 mg/m³) lag der 50%-Wert unter der NWG und der 95%-Wert bei 0,46 mg/m³. Der Kurzzeitwert (Überschreitungsfaktor 2 (II)) liegt bei 5 mg/m³.

Bei allen Kurzzeitmessungen zu CO, NO, NO₂ kam das Probenahmesystem Dräger X-am 5600 mit den gültigen Messbereichen (Tabelle 1) zum Einsatz. Bei den Abstellhallen der Freiwilligen Feuerwehr konnten bei nicht vorhandener bzw. nicht in Betrieb befindlicher Erfassung, mit geöffneten Hallentoren, die AGW und die Kurzzeitwerte immer eingehalten werden. Ein signifikanter Unterschied der Messwerte zwischen einem, zwei oder drei ausfahrenden Fahrzeugen im Abstellbereich wurde nicht festgestellt. Die wichtigste Schutzmaßnahme besteht darin, die Fahrzeuge sofort nach dem Anlassen des Motors aus der Abstellhalle zu fahren. Eine externe Druckluft- oder Druckerhaltung der Bremse ist dafür erforderlich.

Auch bei den drei untersuchten Berufsfeuerwehren mit mehreren Stellplätzen wurden die AGW – mit eingeschalteter Erfassung der Abgase – eingehalten.

4.4.5 Umschlag- und Lagerarbeiten in weiteren Branchen

In den Branchen des Fahrzeugbaus, der Metallbe- und -verarbeitung, Glas-, Papier- und Kunststoffindustrie sowie der Energiegewinnungsbranche wurde z. B. beim Verladen, Entladen, Verladen, Stapeln, Verpacken und Versenden gemessen. Unter den Messorten befand sich auch eine Biogasanlage. Am häufigsten wurden dieselbetriebene Fahrzeuge wie Kleintransporter, Lkw, Radlader und Stapler eingesetzt. Während der Gefahrstoffmessungen kamen die Fahrzeuge in geschlossenen Räumen zum Einsatz, die zum Teil eine Verbindung ins Freie oder zu Nebenräumen hatten oder teilweise offen waren.

Zu den genannten Gefahrstoffen sind insgesamt zwölf personengetragene und 92 stationäre Messungen dokumentiert. Für DME und A-Staub sind zu den sammelnden Probenahmesystemen Probenahmedauern von ≥ 2 Stunden dokumentiert.

Bis auf einen Messwert zu DME zeigen alle Messungen eine Einhaltung der Gefahrstoffgrenzwerte. Die Überschreitung wurde im Anlieferungsbereich der Biogasanlage festgestellt. Aufgrund des hohen Cellulosegehalts bei den Anlieferungen (Mais) kann ein Einfluss der Querempfindlichkeit des Verfahrens nicht ausgeschlossen werden. Der Messwert von 0,053 mg/m³ erscheint angesichts der häufigen Anliefervorgänge dennoch plausibel.

4.4.6 Flugverkehr, Flugabfertigung

Flughäfen sind komplexe Arbeitsbereiche mit vielfältigen Tätigkeiten und Gefährdungen. In dieser Zeitschrift wurde zunächst der Grundagenteil „Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld“ [11] veröffentlicht. Wegen der besonderen Fokussierung auf das Thema „Flughafenvorfeld“ soll hier aber besonders auf den zweiten Teil der Veröffentlichung mit Messdaten zu ermittelten Gefahrstoffbelastungen auf dem Flughafenvorfeld verwiesen werden [12].

4.4.7 Schifffahrt, Fahrzeugdeck

Es erfolgten stationäre und personenbezogene DME-Messungen auf Fahrzeugdecks von Roll-on-Roll-off-Fährschiffen („Ro-Ro-Fahren“). Personenbezogen wurde beim Einweisen von Pkw und Lkw auf dem Fahrzeugdeck sowie bei der Verladung von Sattelaufliegern mit dieselbetriebenen Terminalzugmaschinen gemessen. Die stationären Messpunkte positionierte man in der Nähe der Bug- oder Heckklappe des Schiffes. Das Verkehrsauf-

Tabelle 7. Zusammenstellung der 95%-Werte nach Arbeitsbereichen.

Arbeitsbereichsgruppe	Gefahrstoff					
	NO		NO ₂		DME	
	Messwerte: N < NWG: N (%)	95-%-Wert in mg/m ³	Messwerte: N < NWG: N (%)	95-%-Wert in mg/m ³	Messwerte: N < BG: N (%)	95-%-Wert in mg/m ³
Umschlag- und Lagerarbeiten in Logistik und Handel	47 (o) 31 (66)	1,31	47 (o) 31 (66)	+ 0,48	16 (p) 4 (25) 60 (o) 13 (22)	0,028 0,039
Reparaturen, Wartungen, Qualitätskontrolle, Prüfstände	41 (o) 19 (46)	8,35	42 (o) 15 (36)	7,70	47 (o) 11 (23)	0,025
Umschlag- und Lagerarbeiten in der Abfallwirtschaft	25(o) 20 (80)	1,41	25 (o) 15 (60)	+ 0,54	40 (o) 9 (23)	+ 0,025
Fahrzeughallen in der Feuerwehr	24 (o) 21 (88) (Kurzzeitwerte)	0,46	24 (o) 10 (42) (Kurzzeitwerte)	0,48	19 (o) 6 (32)	0,019
Fahrzeughallen					10 (o) 1 (10)	0,015
Umschlag- und Lagerarbeiten in weiteren Branchen	15 (o) 4 (27)	1,37	14 (o) 3 (21)	+ 0,52	17 (o) 6 (35)	0,028
öffentliche Bereiche, Büro			10 (o) 6 (60)	+ 0,48	(16) (o) 16 (100)	Unter höchster BG von 0,02 mg/m ³
Pförtnerkabine, Parkhäuser, Zugangskontrollen					14 (o) 10 (71)	+ 0,022
Fahrzeuge, Transport			10 5 (50)	0,40	12 6 (50)	+ 0,029
Schifffahrt, Fahrzeugdeck					12 7 (58)	0,052

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NWG), dann geht der Wert der halben BG bzw. NWG in die Statistik ein.
 + Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten Bestimmungsgrenze (BG) bzw. NWG im Datenkollektiv.

Die BG bzw. NWG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.

(p) personengetragene Probenahme

(o) Ortsgebundene, stationäre (personenbezogen oder Grundlast zur Expositionsbeurteilung) Probenahme

N Anzahl

Leere Zellen: (N < 10)

kommen im Betrieb ist von der Frachtmenge und der Saison abhängig. Angaben zur Abgasnorm der passierenden Fahrzeuge bzw. weitere technischen Angaben sind nicht möglich.

Insgesamt sind 16 personengetragene und 39 stationäre Messungen dokumentiert. Für NO, NO₂, CO und CO₂ gab es keine Grenzwertüberschreitung. Bei insgesamt zwölf DME-Messwerten gab es eine Grenzwertüberschreitung mit 0,081 mg/m³. Es handelte sich um einen stationär personenbezogenen Messwert an einer Ladeklappe achtern.

4.5 Messungen in Autobahntunneln

Zwecks Orientierung an einer typischen Alltagsbelastung wurden Abgaskonzentrationen bei der Durchfahrt durch den Hamburger Elbtunnel gemessen. Um die jeweils notwendige Sammelzeit zu erhalten, wurden mehrere Durchfahrten nacheinander zu einer Messdauer zusammengefasst.

Die Messungen erfolgten bei geöffneten Fenstern auf der Rückbank eines Pkw. Eine Messung fand bei einer Geschwindigkeit von 60 bis 80 km/h bei regem Verkehr statt, eine weitere bei zähflüssigem Verkehr.

In beiden Fällen blieb die CO₂-Konzentration im Bereich der Hintergrundkonzentration, die CO-Konzentration lag bei beiden Messungen um 1,0 mg/m³. Die NO₂-Konzentration blieb jeweils unter der NWG von 0,08 mg/m³, die Stickstoffmonoxid-Konzentration lag bei 1,2 bzw. 1,0 mg/m³. DME wurden nur bei der ersten Messung bestimmt (0,019 mg/m³). Ein deutlicher Unterschied der Messwerte lag bei der Partikelzählung vor: 25 000 gegenüber 116 000 Partikel/cm³.

Eine weitere Messung fand im Tunnel statt, und zwar bei Wartungsarbeiten an Verkehrsüberwachungselektronik im Jagd-

bergtunnel (Autobahn A4 in Richtung Erfurt). Bis auf einen NO₂-Messwert von 0,99 mg/m³ wurden alle AGW eingehalten.

4.6 Weitere Arbeitsbereichsgruppen

In den folgenden gebildeten Arbeitsbereichsgruppen wurden keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt:

- Fahrzeughallen,
- öffentliche Bereiche, Büro,
- Pförtnerkabine, Parkhäuser, Zugangskontrollen,
- Fahrzeuge, Transport.

Auf eine ausführliche Beschreibung der Arbeitsbereichsgruppen wird daher verzichtet. Die Verteilungswerte sind in **Tabelle 7** dargestellt.

Die einzige Ausnahme war eine Überschreitung des NO-Grenzwertes (3,93 mg/m³) bei einem Fahrgasteinweiser der Hamburger Hafenfähren an den Landungsbrücken.

5 Diskussion der Ergebnisse und Fazit

5.1 DME, Stickstoffdioxid und -monoxid

Für alle Arbeitsbereiche lagen ausreichend viele Messergebnisse für statistische Bewertungen vor (siehe Tabelle 4). Zu NO₂ liegen 5 % der Messwerte über dem Grenzwert. Bei allen Gefahrstoffen liegen nur wenige Messwerte über dem jeweiligen Grenzwert (0,3 bis 3 % der Werte). Alle 95%-Werte liegen unter dem entsprechenden AGW. Der Medianwert für DME lag mit 0,0095 mg/m³ unter der höchsten BG im Datenkollektiv. Er liegt damit über Werten, die als städtischer Hintergrund angegeben werden (zum Beispiel 4 bis 8 µg/m³ in Berlin, straßennahe Messung [13]), aber sehr weit unter dem Grenzwert. Andere Medianwerte konnten nicht angegeben werden, da mehr als die Hälfte der Messwerte unter der jeweiligen BG bzw. NWG lag.

Tabelle 7 zeigt zusammenfassend die 95%-Werte der Messwerte für NO, NO₂ und DME in den untersuchten Arbeitsbereichen mit mindestens zehn dokumentierten Messwerten auf.

Die TRGS 554 in der Ausgabe von 2008 zeichnete hier noch ein anderes Bild. Die Anlage 5 der TRGS 554 enthielt für verschiedene Arbeitsbereiche Messdaten zu DME. In der Messwertgruppe der Jahre 2001 bis 2007 lagen die 95%-Werte zwischen 0,069 mg/m³ (Reparatur und Wartung) und 0,100 mg/m³ (Flurförderzeuge). Auch ohne Analyse der Vergleichbarkeit der Zusammenstellung der Arbeitsbereichsgruppen liegt es auf der Hand, dass die im Datenzeitraum von 2014 bis 2017 bemessenen Arbeitsplätze erheblich niedrigere DME-Konzentrationen aufweisen. Zweifelsohne ist der technische Fortschritt bei der Motor- und Abgasreinigungstechnik, getrieben von der europäischen Regelung zu Abgaswerten, einer der wichtigsten Gründe dafür.

5.2 Weitere Gefahrstoffe

Die AGW für die Gefahrstoffe E-Staub, Formaldehyd, Ethylbenzol und die Beurteilungsmaßstäbe (Akzeptanzkonzentration, AK/Toleranzkonzentration, TK) für Benzol und Benzo[a]pyren wurden eingehalten. Für 1,3-Butadien wurde die TK eingehalten. Aufgrund der Bestimmungsgrenze des aktuellen Verfahrens ist eine Überwachung der AK für 1,3-Butadien nicht möglich. Zu Platin und seinen Verbindungen liegt kein Beurteilungsmaßstab vor. Allerdings empfiehlt die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission), eine Spitzenkonzentration von 2 µg/m³ nicht zu überschreiten. Die sechs Messwerte zu Platin und seinen Verbindungen im E-Staub liegen alle unter dieser Spitzenkonzentration. Alle 121 Messwerte zu Benzo[a]pyren im E-Staub lagen unter der BG. Die derzeitige AK von 70 ng/m³ wurde somit, trotz einer kurzen Probenahme mit einer daraus resultierenden höchsten BG von 11 ng/m³ im Kollektiv, immer eingehalten.

Für UFP ist festzuhalten, dass eine belastbare Aussage zu den gesundheitlichen Auswirkungen derzeit noch nicht möglich ist, da die wenigen vorhandenen Studien uneinheitliche Ergebnisse zeigten [14].

Die Messwerte (vgl. Abschn. 4.1) erlauben aufgrund der verschiedenen eingesetzten Messgeräte und der geringen Anzahl an Messwerten nur eine erste Orientierung. Im Vergleich mit Jahresmittelwerten von großen europäischen Städten (10 000 bis 43 000 Partikel/cm³ [15]) liegen die hier gefundenen AGW höher. Dies kann unter anderem mit dem zugrundeliegenden Schichtbezug erklärt werden, während bei den urbanen Hintergrundwerten ein Bezugszeitraum von 24 h zugrunde liegt.

5.3 Fazit

Der Grenzwert für DME von 0,05 mg/m³ kann weitgehend eingehalten werden. Bei den Messungen von NO und NO₂ sieht es ähnlich aus. Eine Ausnahme bildet der Bereich „Reparaturen, Wartungen, Qualitätskontrolle, Prüfstände“ (vgl. Abschn. 4.4.2). Während die Verteilung der Messwerte auch hier, insbesondere dank Absaugtechnik an den zu reparierenden und zu prüfenden Fahrzeugen, über weite Bereiche den anderen Arbeitsbereichen ähnelt, weisen die Gefahrstoffe NO und NO₂ mit erheblichen Spitzenwerten auf bestehende Probleme hin. Hier ist das Augenmerk auch in Zukunft auf die Einhaltung und Verbesserung von Schutzmaßnahmen zu legen. Insbesondere nicht funktionsfähige, falsch angewendete oder schlecht dimensionierte Absauganlagen führen zu deutlichen Grenzwertüberschreitungen. Die in diesen

Bereichen eher kleinen Räumlichkeiten, in Verbindung mit testbedingt laufenden Motoren, haben unmittelbare Auswirkungen auf die Luft an den Arbeitsplätzen. In dieser Arbeitsbereichsgruppe wird durch den niedrigen Medianwert und die große Anzahl von Werten unterhalb der BG/NWG aufgezeigt, dass die Grenzwerte mit konsequenter Anwendung der Maßnahmen, die ausführlich in der TRGS 554 [1; 16] beschrieben sind, auch in diesen Arbeitsbereichen einhaltbar sind.

Literatur

- [1] Koch, U.; Willer, E.; Flemming, B.: MGU-Messprogramm 9178 „Abgase von Dieselmotoren“ am Arbeitsplatz. Teil 1: Vorstellung des Messprogramms. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 77 (2017) Nr. 11/12, S. 478-480.
- [2] Mattenkloft, M.; Bagschick, U.; Chromy, W.; Dahmann, D.; Kieser, D.; Rietschel, R. et al.: Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 1/2, S. 13-23.
- [3] Bekanntmachung von Technischen Regeln: TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“. GMBI. (2017) Nr. 50, S. 919-922.
- [4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV (TRGS 906). Ausg. 7/2005. BArbBl. (2005) Nr. 7, S. 79-80; zul. geänd. GMBI. (2007) Nr. 24, S. 514.
- [5] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU). 7. Aufl. (print); 8. Aufl. (online). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2013.
- [6] Die IFA-Expositionsdatenbank MEGA. In: Aus der Arbeit des IFA. Nr. 0207. Ausg. 10/2019. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin – Losebl.-Ausg.
- [7] Rühl, R.; Spod, U.; Ziegler, C.: Abgase von Baumaschinen und Baufahrzeugen aus Sicht des Arbeitsschutzes. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 77 (2017) Nr. 6, S. 224-230.
- [8] Mattenkloft, M.: Dieselmotor-Emissionen (Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs im Feinstaub) (Kennzahl 7050). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 18. Lfg. IV/1997. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/IFA-AM_7050
- [9] Siekmann, H.: Geräte zur Probenahme der alveolengängigen Staubfraktion – A-Staub (Kennzahl 3020). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 21. Lfg./1998. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/IFA-AM_3020
- [10] Technische Regel für Gefahrstoffe: Abgase von Dieselmotoren (TRGS 554). Ausg. 1/2019. GMBI. (2019) Nr. 6, S. 88.
- [11] Breuer, D.; Flemming, B.; Sye, T.; Auras, S.; Heise, O.; Thullner, I. et al.: Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld – Teil 1: Grundlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 78 (2018) Nr. 10, S. 399-404.
- [12] Breuer, D.; Flemming, B.; Sye, T.; Auras, S.; Heise, O.; Thullner, I. et al.: Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld – Teil 2: Gefahrstoffexposition. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 79 (2019) Nr. 11/12, S. 408-418.
- [13] Umweltmedizinische Bedeutung von Dieseleruß/Feinstaub. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Erlangen 2005.
- [14] Ohlwein, S.; Hoffmann, B.; Kappeler, R.; Joss, M. K.; Künzli, N.: Health effects of ultrafine particles. In: Umwelt & Gesundheit 5/2018. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2018. www.umweltbundesamt.de/publikationen/health-effects-of-ultrafine-particles
- [15] Löschau, G.: Partikelanzahl in verkehrsnaher Außenluft. Teil 1: Belastungsniveau und Tendenz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 66 (2006) Nr. 10, S. 431-435.
- [16] Neumann, W.; Flemming, B.; Dahmann, D.; Ehrhard, T.; Heibisch, R.; Nies, E. et al.: Die neue TRGS 554 „Abgase von Dieselmotoren“ – Hinweise zur Anwendung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 79 (2019) Nr. 7/8, S. 247-254.

Ulrike Koch,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Dipl.-Ing.(FH) Eckart Willer,
Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (BG Verkehr), Hamburg.

Dr. Rainer Radtke,
Unfallkasse Rheinland-Pfalz, Andernach.