

Abgase von Baumaschinen und Baufahrzeugen aus Sicht des Arbeitsschutzes

R. Rühl, U. Spod, C. Ziegler

Zusammenfassung Abgase von benzin- und dieselbetriebenen Maschinen und Fahrzeugen werden in der Öffentlichkeit überwiegend aus Sicht des Umweltschutzes aufgrund der Feinstaubbelastung in den Städten diskutiert. Abgase von Verbrennungsmotoren sind aber auch im Arbeitsschutz ein Problem, denn Dieselmotoremissionen sind als krebserzeugend eingestuft und Abgase von Benzinmotoren führen immer wieder zu Kohlenmonoxid-Vergiftungen. Im Beitrag werden die Gefährdungen und Expositionen durch und Maßnahmen gegen Abgase von Baumaschinen und -fahrzeugen unter Arbeitsschutzgesichtspunkten betrachtet.

Exhaust fumes from construction machinery and vehicles from the perspective of occupational safety and health

Abstract Exhaust fumes from petrol and diesel-engined machinery and vehicles are the subject of public discussion primarily with regard to the environmental impact of atmospheric particulate matter in cities. Exhaust gases from internal combustion engines are however also an occupational safety and health issue, since diesel-engine emissions are classified as carcinogenic and exhaust gases from petrol engines are repeatedly a cause of carbon monoxide poisoning. The article discusses the hazards of, exposure to and measures against exhaust fumes from construction machinery and vehicles from an occupational safety and health perspective.

1 Einsatz von Maschinen und Fahrzeugen

Maschinen und Fahrzeuge werden in allen Branchen eingesetzt, in der Landwirtschaft, im öffentlichen Dienst (u. a. in Bauhöfen), in der Industrie, selbst in der Verwaltung (z. B. bei Hausmeistern) und nicht zuletzt in der Bauwirtschaft (Bild 1). In der Gefährdungsbeurteilung sind nicht nur die großen Arbeitsmittel wie Bagger, Traktoren oder Hebebühnen zu berücksichtigen, sondern auch die kleinen Geräte (z. B. Kettensägen, Fugenschneider).

Beim Einsatz von Geräten mit Elektro- oder Akkuantrieb besteht keine Gefährdung durch Abgase. Benzin- und Dieselmotoren können jedoch beim Einsatz in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen zu erheblichen Belastungen von Beschäftigten führen.

2 Regelungen zu Abgasen

Die Abgase von Verbrennungsmotoren können zahlreiche Stoffe enthalten, wie nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe, Dieselmotoremissionen (DME), Stickoxide (NO und NO₂), Kohlenmonoxid (CO) oder Kohlendioxid (CO₂). Im Wesentlichen werden bei Dieselmotoren die krebserzeugenden



Bild 1. Baumaschinen im Einsatz.

DME und bei Benzin- und Gasmotoren das giftige CO näher betrachtet. Seit für die Stickoxide NO und NO₂ Arbeitsplatzgrenzwerte festgelegt sind, werden auch diese Stoffe verstärkt berücksichtigt.

Tätigkeiten, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, in denen DME freigesetzt werden, sind als krebserzeugend eingestuft [1]. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2012 DME in Gruppe 1 (krebserzeugend für den Menschen) eingestuft und damit ihre frühere Einstufung in Gruppe 2A (wahrscheinlich krebserzeugend für den Menschen) verschärft [2]. Eine rechtliche Bewertung und die Auswirkung für Deutschland beschreiben Teich et al. [3].

Für DME gab es bisher keinen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW), es galt das Minimierungsgebot. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) diskutiert seit 2011, ob ein AGW oder sogenannte Toleranz- und Akzeptanzwerte festgelegt werden. Im Mai 2017 hat der AGS einen AGW von 0,05 mg/m⁵ verabschiedet. Beschäftigten, die gegenüber DME exponiert sind, ist zudem eine arbeitsmedizinische Vorsorge anzubieten.

Grundsätzlich gilt bei Gefahrstoffen das Minimierungsgebot (§ 10(4) GefStoffV). Das bedeutet, dass die Exposition soweit wie irgend möglich reduziert werden muss. In der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 554 [4] wird angegeben, dass in Arbeitsbereichen, in denen ausschließlich dieselbetriebene Maschinen mit Partikelfiltern eingesetzt werden, die DME-Konzentrationen unter der Nachweisgrenze von 0,014 mg/m⁵ liegen. Dieser Wert wurde vielfach als Orientierungswert im Arbeitsschutz herangezogen.

Kohlenmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Es verdrängt den Sauerstoff im Blut, da es sich 300-mal stärker an Hämoglobin (Hb) bindet als Sauerstoff. Der AGW von CO liegt bei 35 mg/m⁵, der biologische Grenzwert (BGW) bei 5 % CO-Hb. Auch sind bei CO-Vergiftungen Spätfolgen zu erwarten, wie Sprachstörungen und andere neurologische Symptome. Zudem ist CO eingestuft als reproduktions-

Dr. rer. nat. Reinhold Rühl, Dipl.-Ing. Ulf Spod,
Dipl.-Ing. (FH) Corinne Ziegler,
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU),
Frankfurt am Main.

8 - Gefahren chemischer Natur

- Emissionen

Das Einatmen der Abgase kann gesundheitliche Folgen haben, und sogar tödlich sein!
DEN BAGGER NIEMALS in geschlossenen Räumen ohne Belüftung und ohne Abführung der Abgase verwenden.



GEFAHR

Die Abgase des Motors enthalten Kohlenmonoxid, ein tödliches Gas. Das Einatmen von Kohlenmonoxid kann in wenigen Minuten zum Tod führen.

- ▶ Die Maschine NIE in einem geschlossenen Bereich, z. B. einem Tunnel, betreiben, außer es besteht adäquate Lüftung durch Abluftventilatoren oder Schläuche.

Bild 2. Auszüge aus Bedienungsanleitungen benzin- und dieselbetriebener Maschinen.

toxisch (d. h.: kann das Kind im Mutterleib schädigen). Schwangere dürfen daher nicht gegenüber CO exponiert werden. Bei CO-Expositionen über dem AGW ist eine arbeitsmedizinische Vorsorge zu veranlassen und bei Expositionen unter dem AGW anzubieten.

Die Luftgrenzwerte für Stickoxide – 25 ml/m³ (ppm) für NO und 5 ml/m³ für NO₂ – wurden 2005 zurückgezogen, anschließend galt das Minimierungsgebot. Seit 2009 gibt es für NO und NO₂ MAK-Werte von 0,5 ppm, die als Empfehlung bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen waren. Seit Mitte 2016 gelten AGW für die beiden Stickoxide: 2 ml/m³ bzw. 2,5 mg/m³ für NO und 0,5 ml/m³ bzw. 0,95 mg/m³ für NO₂.

3 Vergiftungen durch Abgase

Die Vergiftungsgefahr durch CO beim Einsatz benzinbetriebener Maschinen wird sehr oft unterschätzt. Zahlreiche Unfälle, auch mit Todesfolge, belegen dies immer wieder [5].

Leider erfahren die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung (UV-Träger) nur von wenigen derartigen Unfällen, da die Beschäftigten meist nur kurz arbeitsunfähig sind. Der Unternehmer ist nur verpflichtet, Unfälle, die eine Arbeitsunfähigkeit von mehr als drei Tagen verursachen, beim zuständigen UV-Träger anzuzeigen. Über CO-Vergiftungen sollten die UV-Träger aber immer informiert werden, da Spätfolgen auftreten können.

Ungeachtet dessen muss nach § 16e Absatz 2 des Chemikaliengesetzes jeder Arzt, der zur Behandlung oder Beurteilung einer Erkrankung herbeigezogen wird, bei der der Verdacht besteht, dass sie auf Einwirkung gefährlicher Stoffe zurückgeht, dies dem Bundesinstitut für Risikobewertung melden [6].

4 Verantwortung der Hersteller

Die Hersteller gas-, benzin- und dieselbetriebener Maschinen weisen in ihren Bedienungsanleitungen und mit Aufklebern auf den Maschinen auf die Vergiftungsgefahren durch CO hin (Bild 2). Die Bedienungsanleitungen werden mit den Maschinen geliefert, sie sind aber auch im Internet verfügbar. Der Einsatz in geschlossenen Arbeitsbereichen, Räumen oder tiefen Gräben ist laut Hersteller nur erlaubt, wenn ausreichende Lüftung vorhanden ist oder eine Abführung der Abgase ins Freie erfolgt. In der Praxis wird immer wieder das Öffnen von Fenstern, Türen oder Toren oder die im Gebäude vorhandene Lüftung (z. B. Lüftung in Tiefgaragen) als ausreichend angesehen, was sich regelmäßig als Irrtum herausstellt, wenn Kopfschmerzen, Unwohlsein oder sogar Bewusstlosigkeit – also CO-Vergiftungserscheinungen – bei Arbeiten mit Einsatz von Benzinmotoren auftreten. Die Gefahrstoffverordnung fordert aber, dass die Wirksamkeit von Maßnahmen nicht vermutet werden kann, sondern überprüft werden muss. Dies ist bei CO nur durch Messungen mit direkt anzeigenden Messgeräten, die regelmäßig gewartet und vor jedem Einsatz kalibriert werden, möglich – Voraussetzungen, die so gut wie kein Betrieb erfüllen kann.

Zudem ist eine technische Lüftung bei manchen Arbeiten ohnehin nicht möglich, z. B. beim Glätten von frischen Betonoberflächen. Klarer und vor allem sicherer wäre ein Hinweis ohne Wenn und Aber „Der Einsatz in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen ist verboten“.

Damit geben die Hersteller mit ihren Hinweisen die Verantwortung an die Betreiber der Maschinen ab. Es kann als grobe Fahrlässigkeit ausgelegt werden, wenn der Unternehmer Maschinen entgegen der Betriebsanleitung einsetzt und sich eine Vergiftung ereignet. Dadurch ist die Rechtsgrundlage dafür geschaffen, dass der UV-Träger nach einem Unfall den Unternehmer für die entstandenen Kosten in Regress nehmen kann.

Zudem ist eine technische Lüftung bei manchen Arbeiten ohnehin nicht möglich, z. B. beim Glätten von frischen Betonoberflächen. Klarer und vor allem sicherer wäre ein Hinweis ohne Wenn und Aber „Der Einsatz in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen ist verboten“.

5 Auswertung der Abgasmessungen der BG BAU

Die im Folgenden beschriebenen Daten dokumentieren die Mitte 2016 durchgeführten Auswertungen von Messungen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU). Die Expositionsbeschreibungen „Expositionen gegenüber Dieselmotoremissionen (DME) von Baumaschinen und -fahrzeugen“, „Expositionen beim Einsatz von Stampfern und Rüttelplatten“ und „Einsatz von Flügelglättern“ geben den jeweils aktuellen Stand wieder [7 bis 9].

Die diesen Auswertungen zugrunde liegenden Messungen führten die BG BAU bzw. die ehemaligen Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft durch. Gemessen wurde in der Regel personen- und tätigkeitsbezogen, d. h. am Beschäftigten während der exponierten Tätigkeit. Zu jeder Messung werden sehr viele Rahmenbedingungen dokumentiert, wie Räumlichkeiten, Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Motordaten usw. An zwei Beispielen wird ausführlicher darauf eingegangen, wie diese vielen Daten betrachtet werden müssen, um zu validen Ergebnissen zu kommen.

5.1 Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen in Schächten und Baugruben

Beim Bau des Emscher-Abwasserkanals wurden ungefähr 100 Schachtbauwerke errichtet. Je nach Schachtgröße wurden ein oder mehrere Bagger und andere Baumaschinen eingesetzt. In vielen dieser bis 25 m tiefen Schächte fanden Messungen der DME-Belastungen im Bagger, z. T. auch stationär am Rand der Schächte in der Nähe der Einstiegsleitern, statt. Weitere Messungen erfolgten z. B. beim Aushub von tiefen Baugruben. Von 2008 bis 2014 wurden so 44 DME-Messungen beim Einsatz von Baumaschinen in Schächten und Baugruben durchgeführt.

Obwohl sich bei der Mehrzahl der Messungen relativ niedrige DME-Expositionen ergaben, liegt der 95-%-Wert dieses Datenkollektives aufgrund einiger hoher Werte bei fast 0,18 mg/m³ (Tabelle 1). Bei näherer Betrachtung der ein-

Tabelle 1. DME-Expositionen in mg/m³ beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen in Schächten und Baugruben. DPF: Dieselpartikelfilter

	Messwerte	Min	50-%-Wert	95-%-Wert	Max
Gesamtkollektiv	44	< 0,007	0,018	0,178	0,29
nur Maschinen ohne DPF	38	0,007	0,02	0,195	0,29
ohne DPF, < 100 m ²	31	0,008	0,019	0,045	0,046

zelen Messungen zeigte sich, dass die Baumaschinen bei sechs Messungen mit einem Dieselpartikelfilter (DPF) ausgerüstet waren; die Expositionen lagen in diesen Fällen zwischen < 0,007 und 0,018 mg/m³. Für das Restkollektiv aus 38 Messwerten zu Baumaschinen ohne DPF erhöhte sich der 95-%-Wert auf fast 0,2 mg/m³, weiterhin mit vielen relativ niedrigen, aber auch einigen hohen Werten.

Aufgrund der weiter unten beschriebenen Erfahrungen beim Einsatz von Baumaschinen in Gräben wurde davon ausgegangen, dass als Folge der Thermik die Abgase der Baumaschinen in den Baugruben nach oben entweichen und somit die Expositionen der Beschäftigten in der Grube relativ niedrig sind. Das erklärt die niedrigen, aber nicht die hohen Werte. Weiterhin zeigte sich analog zu den Messungen in Gräben kein Zusammenhang zwischen der Höhe der Exposition und der Tiefe der Schächte und Baugruben. Allerdings lassen sich die ermittelten Konzentrationen bezogen auf die Grundfläche der Schächte und Baugruben sehr gut erklären (Bild 3; auch bei den Gräben sind die Expositionen umso höher, je enger der Graben ist). War die Grundfläche > 100 m², liegen ausschließlich DME-Expositionen unter 0,05 mg/m³ vor. Bei Grundflächen < 100 m² liegen in der Regel deutlich höhere Expositionen vor (die beiden niedrigen Werte bei 60 bzw. 87 m² wurden bei stationären Messungen am Rand der Schächte ermittelt).

Insgesamt liegen 31 DME-Expositionswerte in Baugruben und Schächten mit Grundflächen über 100 m² beim Einsatz von Baumaschinen ohne DPF vor, der 95-%-Wert beträgt 0,045 mg/m³ (Tabelle 1). Beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen ohne DPF in Schächten bzw. Baugruben mit einer Grundfläche über 100 m² wird der AGW für DME somit unterschritten.

Dieselbetriebene Baumaschinen können daher in nach oben offenen Schächten und Baugruben mit einer Grundfläche über 100 m² ohne DPF eingesetzt werden; unter 100 m² sind diese jedoch erforderlich. Diese Aussage gilt nicht für Sonderfälle, in denen eine vollständige oder teilweise Abdeckung der Baugrube erfolgt, z. B. durch Fahrzeugplatten.

5.2 Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen und -fahrzeuge bei Bauarbeiten unter Tage

Seit 1994 haben die BG BAU bzw. die frühere Tiefbau-BG bei Tunnelarbeiten DME gemessen. Diese Messungen erfolgen regelmäßig bei Arbeiten im Tunnel und nicht nur bei besonders auffälligen Baustellen, sie sind somit keine „Worst-case“-Messungen. Nicht selten wurden aber diese Messungen veranlasst, weil sich Beschäftigte auf den Tun-

nelbau-Baustellen über „sehr schlechte Luft“ beklagt hatten. Als die Messungen dann stattfanden, waren in der Regel schon erste Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität umgesetzt. Fast 800 Expositionsdaten sind so bis 2014 zusammengekommen (Arbeiten im Tunnel ohne Gleisbau). Insbesondere vor dem Jahr 2000 wurden z. T. sehr hohe DME-Expositionen gemessen.

Vor 1994 lagen die Expositionen sicher höher, da damals die Dieselpartikel-Filtertechnik noch nicht entwickelt war. Zwar wurden beim Tunnelbau eingesetzte Maschinen ab 1995 auch mit DPF ausgestattet, bemerkbar machte sich dies an den DME-Expositionen aber erst ab etwa 2000.

Nach Ausschluss von Messungen, die nicht direkt beim Tunnelvortrieb, sondern bei anderen Arbeiten im Tunnel erfolgten, z. B. Erschütterungssimulationen mit dieselbetriebenen Loks, verblieben 748 Messdaten, jährlich fünf bis 90 Messungen, mit einem Schwerpunkt zwischen 1994 und 2000.

In Bild 4 sind die 95-%-Werte der Jahreskollektive aufgetragen (lagen für ein Jahr weniger als zehn Messungen vor, wurden die Daten mehrerer Jahre zusammengefasst) sowie der Trend, der die kontinuierliche Verringerung der

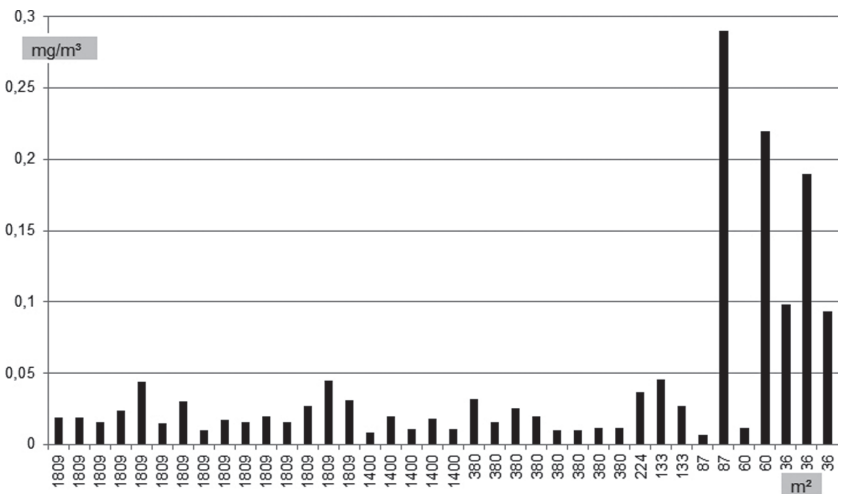


Bild 3. DME-Expositionen in Baugruben und Schächten beim Einsatz von Baumaschinen ohne DPF in Abhängigkeit von der Grundfläche.

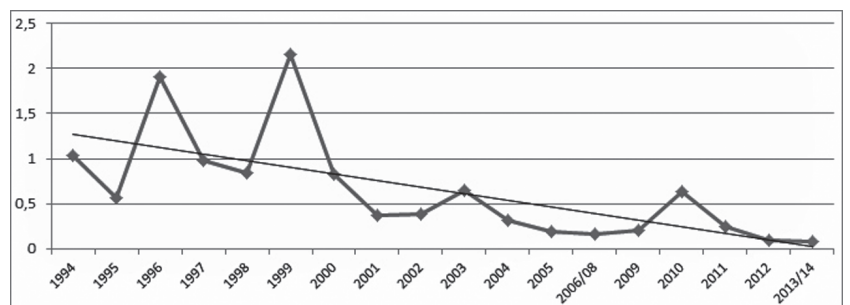


Bild 4. Dieselmotoremissionen in mg/m³ bei Tunnelbau-Arbeiten.

Tabelle 2. DME-Expositionen in mg/m³ beim Einsatz dieselbetriebener Rüttelplatten.

	Messwerte	Min	50-%-Wert	95-%-Wert	Max
2003/2004; Stampfer und Rüttelplatten; 1,5 m breiter Graben	31	0,05	0,27	1,51	3,79
2011 bis 2014; Rüttelplatten; 1 m breiter Graben	12	0,032	0,047	0,078	0,083

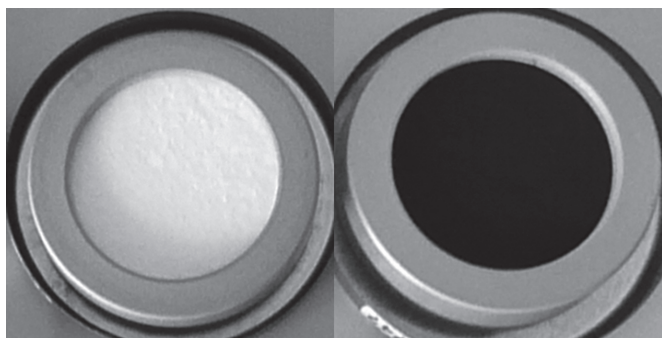


Bild 5. Filter von einer DME-Messung im Sommer 2010; links: neuer Filter, rechts: Filter nach 30 min Arbeit mit einer Rüttelplatte.

Expositionen über die Jahre und damit den Einfluss der DPF deutlich macht.

6 Expositionen beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen und -fahrzeuge

Als Antrieb für Baumaschinen und straßenzugelassene Baufahrzeuge (Lkw) dürfen die Hersteller nur Dieselmotoren mit Typprüfung verbauen. Für Fahrzeuge mit Straßenzulassung gelten andere Abgasgrenzwerte als für Baumaschinen. Im Zuge der Typprüfung muss der Maschinen- bzw. Motorenhersteller nachweisen, dass der Motor die von der Europäischen Union (EU) vorgegebenen Emissionswerte nicht überschreitet. Bei den Straßenfahrzeugen werden die jeweiligen Stufen für die Abgasgrenzwerte Euro 1 bis Euro 6 genannt, bei den Baumaschinen heißen sie Stufe I bis Stufe IIIA, IIIB und Stufe IV. Den durch den Straßenverkehr deutlich höheren Schadstoffemissionen ist es geschuldet, dass mit der Einführung der Abgasgrenzwerte für Straßenfahrzeuge begonnen wurde. Die Straßenfahrzeuge sind den Baumaschinen immer etwa eine Abgasstufe voraus.

6.1 Dieselbetriebene Rüttelplatten in Gräben im Freien

Im Rahmen der weiter unten bei Stampfern und Rüttelplatten beschriebenen Messkampagnen fanden 2011 bis 2015 Messungen bei simulierten Arbeiten auch mit dieselbetriebenen Rüttelplatten ohne DPF in einem 1,5 m breiten, 2 m tiefen und 15 m langen Graben sowie 2003/2004 in einem 1 m breiten, 6 m langen und 2 bzw. 4 m tiefen Graben statt (Tabelle 2). Die neueren Motoren führen zwar zu einer geringeren DME-Exposition, aber der AGW für DME bleibt überschritten. Da am Markt keine Rüttelplatten mit DPF verfügbar sind, ist beim Einsatz dieselbetriebener Rüttelplatten Atemschutz (Halbmaske mit P3-Filter) zu tragen. Messungen auf Baustellen bestätigen diese Ergebnisse.

Dabei finden sich auch noch höhere Konzentrationen. Bild 5 macht die Belastung optisch deutlich. Auf einer Baustelle wurde beim Verdichten während einer lediglich halbstündigen Arbeit mit einer Rüttelplatte im Graben

unter Vollast der Filter des Messgerätes völlig schwarz. Entsprechend würde – ohne das Tragen von Atemschutz – die Lunge des Bedieners die Dieselmotoremissionen aus der Atemluft filtern. Während der halben Stunde wurde eine DME-Belastung von 3,5 mg/m³ gemessen.

Bei wenigen Messungen beim ebenerdigen Einsatz dieselbetriebener Rüttelplatten wurden niedrige DME-Werte (maximal 0,02 mg/m³) ermittelt.

6.2 Dieselbetriebene Baumaschinen und -fahrzeuge ebenerdig im Freien

Von 1994 bis 2016 (mit dem Schwerpunkt 2010/2011) führte die BG BAU DME-Messungen beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen und -fahrzeuge ebenerdig im Freien durch. In der Regel erfolgte die Probenahme in der Fahrerkabine. Die Türen der Fahrerkabinen waren fast immer offen. Bei 27 Messungen (69 %) lagen die Ergebnisse unter der Nachweisgrenze (Tabelle 3). Der Maximalwert von 0,081 mg/m³ wurde 1994 gemessen.

Im Rahmen der Staubmessungen beim Einsatz von Kleinfräsen auf Asphaltflächen im Freien wurden ebenfalls die DME-Konzentrationen ermittelt. Bei allen elf Messungen lagen die DME-Konzentrationen unter der Nachweisgrenze [10].

Beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen und -fahrzeuge ebenerdig im Freien ist zur Einhaltung des AGW daher kein DPF erforderlich.

6.3 Dieselbetriebene Baumaschinen und -fahrzeuge in Tunneln und Hallen

In ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen (Hallen mit Dach und mindestens zwei Außenwänden, auch wenn Fenster, Türen, Tore, Dachreiter vorhanden sind) müssen dieselbetriebene Baumaschinen gemäß TRGS 554 mit DPF ausgerüstet sein. Ein Betrieb ohne Partikelfilter ist hier grundsätzlich nicht erlaubt, da erhebliche Belastungen durch krebserzeugende DME bestehen. Dies gilt auch für Fahrzeuge, die Material in die Tunnel und Hallen bringen oder abtransportieren.

Eine technische Lüftung kann in manchen Arbeitsbereichen (z. B. Tunnelbaustellen) zusätzlich zum Einsatz von DPF erforderlich sein, um die AGW für die gasförmigen Komponenten der Abgase von Dieselmotoren – insbesondere NO und NO₂ – einzuhalten.

Beim Einsatz dieselbetriebener Maschinen in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen unterstützt die BG BAU ihre Mitgliedsbetriebe durch eine Förderung der Nachrüstung von Baumaschinen mit einem DPF.

Tabelle 3. DME-Expositionen in mg/m³ beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen und -fahrzeuge ebenerdig im Freien.

Messwerte	Min	50-%-Wert	95-%-Wert	Max
39	0,006	0,019	0,043	0,081

6.4 Straßenzugelassene Nutzfahrzeuge (Lkw) mit Euro-5-Motoren in Tunneln und Hallen

Gemäß TRGS 554 ist der Einsatz von Fahrzeugen mit Euro-5-Motoren über 3,5 t ohne DPF in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen nicht zulässig. Diese Lkw werden ohne DPF in Verkehr gebracht, halten aber dennoch die Abgasgrenzwerte ein.

Seit 2011 erfolgten 27 Messungen auf Baustellen in Tunneln und Hallen, auf denen die DME ausschließlich von Straßenzugelassenen Nutzfahrzeugen mit Euro-5-Motoren stammten (Tabelle 4). Die Messungen fanden bei z. T. starken Fahrzeugbewegungen statt. Auf einer Baustelle kam es während der Messung zu 34 Fahrzeugentladungen von Betonmischern, die den Beton in eine Betonpumpe übergaben. Während der Entladung laufen die Motoren. Da die Betonpumpe stationär mit hoher Leistung betrieben wurde, wurden die Abgase am Auspuffrohr abgesaugt (Bild 6). Die Messungen erfolgten stationär an der Übergabestelle, wo die höchste DME-Konzentration zu erwarten war.

Der Einsatz straßenzugelassener Nutzfahrzeuge mit Euro-5-Motoren ohne DPF ist daher in Hallen und Tunneln zulässig. Nutzfahrzeuge mit Euro-6-Motoren sind serienmäßig mit einem DPF ausgestattet und dadurch ebenfalls auf Hallen- und Tunnelbaustellen problemlos einsetzbar.

7 Hintergrundbelastung durch Straßen- und Eisenbahnverkehr

Auf fünf Baustellen erfolgten Messungen, um eine mögliche DME-Belastung durch den Straßenverkehr zu ermitteln. An den Messorten bestand keine DME-Exposition durch Baumaschinen oder -fahrzeuge. Nur bei einer der acht Messungen lag die DME-Konzentration mit 0,011 mg/m³ über der Nachweisgrenze.

Weiterhin wurden vier Messungen in einem Straßentunnel durchgeführt. Dort fanden Bauarbeiten ohne Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen oder -fahrzeugen statt; eine der beiden Spuren war gesperrt (Bild 7). Trotz hoher Windgeschwindigkeiten (1,5 bis 5,1 m/s; Mittelwert: 3,0 m/s) wurden vom Straßenverkehr verursachte DME-Konzentrationen (Hintergrundbelastung) von 0,009 bis 0,019 mg/m³ im Arbeitsbereich gemessen.

8 Schutzmaßnahmen – Atemschutz statt Dieselpartikelfilter?

Die Hierarchie des Arbeitsschutzes wird durch das STOP-Prinzip verdeutlicht: Substitution vor technischen, vor organisatorischen und vor persönlichen Schutzmaßnahmen. Substitution bedeutet hier, emissionsfreie Antriebe einzusetzen, also Elektro- oder Akkuantrieb bzw. emissionsarme Antriebe wie Gasantrieb. DPF als technische Schutzmaßnahme führen ebenso zu emissionsarmem Arbeiten, jedoch ist hier auf die Stickoxidexposition zu achten.

Das Erfassen der Abgase am Auspuff und deren Ableitung ins Freie kann verhindern, dass Abgase im Arbeitsbereich frei werden. Diese technische Maßnahme ist jedoch nur möglich, wenn in der Nähe eine Öffnung ins Freie vorhanden ist und die Maschine nicht bewegt wird.

Technische Lüftung als alleinige Maßnahme, um auf DPF zu verzichten, ist auf Baustellen nicht praktikabel. Zudem

Tabelle 4. DME-Expositionen in mg/m³ beim Einsatz dieselbetriebener Nutzfahrzeuge mit Euro-5-Motoren in Hallen und Tunneln.

Messwerte	Min	50-%-Wert	95-%-Wert	Max
27	0,003	0,019	0,041	0,053



Bild 6. Betonpumpe mit Absaugung in einer Halle.



Bild 7. DME-Messung in einem Straßentunnel.

muss der Arbeitgeber die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahmen regelmäßig überprüfen (§ 7(7) der GefStoffV), was bis zum Vorliegen der Messergebnisse bedeutet, dass die Beschäftigten durch Atemschutz geschützt sein müssen.

Eine technische Lüftung kann auf manchen Baustellen, z. B. Tunnelbaustellen, als zusätzliche Maßnahme zum DPF erforderlich sein, um die AGW der gasförmigen Anteile – insbesondere der Stickoxide – einzuhalten.

Organisatorische Maßnahmen sind z. B.:

- unnötiges Laufen lassen der Maschinen verhindern,
 - arbeitsmedizinische Vorsorge veranlassen oder anbieten.
- Nur wenn eine Substitution, technische oder organisatorische Schutzmaßnahmen nicht durchführbar sind bzw. nicht zu einer ausreichenden Reduzierung der DME in der Luft am Arbeitsplatz geführt haben, ist vorübergehend Atemschutz zulässig. Das Tragen von Atemschutz ist keine Alternative zum DPF.

Der § 7(5) GefStoffV untersagt das Tragen von belastendem Atemschutz als Dauermaßnahme. Dauermaßnahme bedeutet, dass eine Tätigkeit nicht ohne Atemschutz durchgeführt werden kann. Belastend bedeutet, dass das Gewicht und der Atemwiderstand der Atemschutzgeräte den Träger

Tabelle 5. Kohlenmonoxid-Expositionen in mg/m³ beim Einsatz benzinbetriebener Flügellätter in Hallen.

NWG: Nachweisgrenze

Katalysator	Messwerte	Min	Mittel	95-%-Wert	Max
nein	46	10,0	88,3	241,1	501,0
ja	52	< NWG	16,8	34,4	37,9



Bild 8. Unterstützung von Arbeitsschutzmaßnahmen durch die BG BAU (QR-Code).

belasten. Wird trotzdem Atemschutz eingesetzt, ist eine Ausnahmegenehmigung von § 7(5) einzuholen. Zudem sind Tragezeitbegrenzungen zu beachten (was zu erhöhtem Personalaufwand führt) und schließlich ist beim Einsatz einer Halbmaske mit P3-Filter eine arbeitsmedizinische Vorsorge zu veranlassen.

9 Kohlenmonoxid-Expositionen durch benzinbetriebene Baumaschinen

In ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen (z. B. Räumen, Tiefgaragen) ist der Einsatz von benzinbetriebenen Geräten (z. B. Motorflex, Fugenschneider, Stromaggregate) wegen der Vergiftungsgefahr nicht zulässig. Darauf weisen auch die Hersteller hin (Bild 2). Hier sind ausschließlich Elektrogeräte zu verwenden. Die BG BAU unterstützt daher die Anschaffung von Elektroflugenschneidern im Rahmen ihrer Arbeitsschutzprämien (Bild 8).

Den Einsatz von benzinbetriebenen Glättmaschinen in Hallen sowie von Verdichtungsgeräten in Gräben erlaubt die BG BAU, wenn sie unter den nachfolgend genannten Bedingungen verwendet werden.

Atemschutz gegen CO ist zum Einsatz auf Baustellen nicht geeignet. CO-Filter haben eine sehr kurze Standzeit und sind zudem nur als Kombinationsfilter verfügbar. Diese sind sehr schwer, haben einen hohen Atemwiderstand und können – einmal geöffnet – zwar mehrfach, aber nur in der jeweiligen Arbeitsschicht, eingesetzt werden.

9.1 Glättmaschinen

Beim Glätten frischer Beton- und Estrichflächen werden vor allem benzinbetriebene Glättmaschinen eingesetzt, daneben auch diesel-, gas- oder elektrobetriebene Glätter. Die BG BAU hat zahlreiche CO-Messungen auf solchen Baustellen durchgeführt, in oft sehr großen und teilweise offenen Hallen. Tabelle 5 gibt die Expositionen beim Einsatz benzinbetriebener Glätter mit und ohne Katalysator an. Ohne Katalysator wird der AGW für CO um fast das Sechsfache überschritten, zahlreiche Vergiftungen bei solchen Arbeiten bestätigen diese hohen Expositionen. Mit Katalysator wird der AGW unterschritten.

Die Hersteller der Glättmaschinen kennen diese Gefahr und untersagen in ihren Bedienungsanleitungen den Betrieb in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen, wenn nicht für eine ausreichende Lüftung gesorgt

wird (Bild 2). Dies ist aber bei diesen Arbeiten nicht möglich, da dann der Estrich zu schnell trocknen und reißen würde.

Werden benzinbetriebene Glättmaschinen mit Katalysator in Hallen eingesetzt,

wird der AGW unterschritten (Tabelle 5). Beim Einsatz gasbetriebener Glättmaschinen erfolgten bisher nur wenige Messungen. Dabei lagen die CO-Expositionen bei maximal 15 mg/m³, meist aber unter 10 mg/m³.

Glätтарbeiten in Hallen dürfen daher nur mit gasbetriebenen Glättmaschinen oder benzinbetriebenen Geräten mit Katalysator durchgeführt werden. Dieselbetriebene Glättmaschinen dürfen nur mit einem DPF eingesetzt werden. In Räumen sind nur Elektroglätter zulässig [14].

Die BG BAU unterstützt finanziell die Nachrüstung oder Erstausrüstung von benzinbetriebenen Glättmaschinen mit Katalysatoren sowie die Anschaffung von flüssiggasbetriebenen Glättmaschinen im Rahmen ihrer Arbeitsschutzprämien (Bild 8).

9.2 Stampfer und Rüttelplatten in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen

Für den Einsatz von Stampfern und Rüttelplatten in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen (Hallen, Tiefgaragen ...) liegen keine Messdaten vor. Aufgrund der Messungen beim Einsatz von Glättmaschinen ist davon auszugehen, dass der AGW für CO nicht eingehalten wird. Daher ist der Einsatz von benzinbetriebenen Verdichtungsgeräten in solchen Arbeitsbereichen nicht zulässig.

9.3 Benzinbetriebene Stampfer und Rüttelplatten im Freien

Da die Durchführung einer ausreichenden Zahl von Messungen bei Verdichtungsarbeiten in Gräben vergleichbarer Abmessungen auf realen Baustellen äußerst schwierig ist, hat die BG BAU in Zusammenarbeit mit den Herstellern Messungen bei simulierten Arbeiten in Gräben vorgenommen.

Im Rahmen einer solchen Messkampagne wurden in den Jahren 2011 bis 2015 mit benzinbetriebenen Stampfern und Rüttelplatten in einem 1,5 m breiten, 2 m tiefen und 15 m langen Graben Konzentrationen bis 236 mg/m³ CO ermittelt. Bereits 2003 und 2004 fanden in einem 1 m breiten, 6 m langen und 2 bzw. 4 m tiefen Graben Messungen bei simulierten Arbeiten mit benzinbetriebenen Stampfern und Rüttelplatten statt, mit einem Maximalwert von 350 mg/m³ CO [12]. Dabei gab es kaum Unterschiede zwischen den Expositionen in 2 m oder 4 m tiefen Gräben. Einzelne Messungen auf Baustellen sowie CO-Vergiftungen bei solchen Arbeiten bestätigen diese hohen Expositionen.

Bei simulierten Arbeiten mit benzinbetriebenen Stampfern und Rüttelplatten mit neuester Motorengeneration bzw. mit Katalysator im 1,5 m breiten, 2 m tiefen und 15 m langen Graben wurden deutlich niedrigere CO-Konzentrationen gemessen, mit maximal 65 mg/m³ aber noch immer über dem AGW. Zudem stehen hier die Belege noch aus, ob diese niedrigen Werte auch in der Praxis erreicht werden. Schließlich sind in schmaleren Gräben natürlich höhere Expositionen zu erwarten.

Beim Einsatz gasbetriebener Stampfer im Graben konnten bisher nur wenige Messungen durchgeführt werden, die Expositionen lagen unter dem AGW.

Da die CO-Expositionen mit direkt anzeigenden Geräten gemessen werden, kann man den Verlauf der CO-Konzentrationen sehr gut verfolgen. Werden die Stampfer bzw. Rüttelplatten im Graben ausgeschaltet, geht die Exposition der Beschäftigten schnell auf null zurück. Offensichtlich steigen die warmen Abgase aufgrund der Thermik nach oben und belasten die Beschäftigten im Graben dann nicht mehr.

Die Anschaffung akku- und gasbetriebener Stampfer sowie ferngesteuerter Rüttelplatten unterstützt die BG BAU im Rahmen ihrer Arbeitsschutzprämien finanziell (Bild 8).

Bei wenigen Messungen beim ebenerdigen Einsatz benzinbetriebener Stampfer und Rüttelplatten im Freien wurden CO-Konzentrationen unter dem AGW ermittelt.

10 Alternative Kraftstoffe

Handelsübliches Benzin enthält in geringer Menge das krebserzeugende Benzol. Um diese Belastung der Beschäftigten, vor allem aber um die Belastung der Umwelt durch Benzol zu verhindern, wird Alkylatbenzin eingesetzt. Dieser Sonderkraftstoff enthält kein Benzol. Einige Hersteller werben damit, dass auch die CO-Belastung deutlich abgesenkt wird („... ein Drittel weniger Kohlenmonoxid ...“) [13]. Bei Arbeiten mit Motorsägen in einer Zimmerei wurden mit Alkylatbenzin zwar etwas geringere CO-Konzentrationen gemessen als mit normalem Benzin, allerdings wurde der AGW für CO noch immer überschritten [14]. Dies bestätigen auch CO-Vergiftungen mit Alkylatbenzin.

Bio-Diesel wird aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen und ist biologisch abbaubar. Der Einsatz dieses Kraftstoffs fällt ebenfalls unter die Anwendung der TRGS 554 [4]. Dies bedeutet, dass auch mit Bio-Diesel betriebene Dieselmotoren für den Einsatz in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen mit einem DPF ausgerüstet sein müssen.

11 Zusammenfassung

Beim Einsatz von Dieselmotoren auf Baustellen geht die Gefahr überwiegend von den krebserzeugenden DME aus, bei Benzinmotoren vom toxischen Kohlenmonoxid. Messungen der BG BAU zeigen, dass eine Gefährdung besteht, wenn die Verbrennungsmotoren in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen (wie Hallen, Räumen, Tiefgaragen, Tunneln, tiefen Gräben) eingesetzt werden. Die Rangfolge der Schutzmaßnahmen (STOP-Prinzip) fordert, dass zuerst der Einsatz von emissionsfreien Verfahren bzw. Motoren überprüft werden muss. Ist dies nicht möglich, sind emissionsarme Motoren (Gasantrieb) einzusetzen. Lkw mit Euro-5-Motoren sind aufgrund der Messungen der BG BAU auch ohne DPF als emissionsarm anzusehen. Technische Maßnahmen sind Dieselmotoren mit einem DPF, Benzinmotoren mit Katalysator nachzurüsten. Wird die Maschine nicht bewegt, können die Abgase am Auspuff über eine Absaugung ins Freie geleitet werden.

Beim Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen ebenerdig im Freien und in Schächten oder Baugruben mit einer Grundfläche über 100 m² kann auf einen DPF verzichtet werden.

Die BG BAU fördert Maßnahmen zur Abgasreduzierung im Rahmen ihrer Arbeitsschutzprämien¹⁾.

Literatur

- [1] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren (TRGS 906). BArbBl. (2005) Nr. 7, S. 79-80; zul. geänd. GMBL. (2007) Nr. 24, S. 514.
- [2] Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 106. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich 2014.
- [3] Teich, E.; Rühl, R.; Blome, H.: IARC stuft Dieselmotoremissionen neu ein. BauPortal (2013) Nr. 1, S. 21-22.
- [4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Abgase von Dieselmotoremissionen (TRGS 554). GMBL. (2008) Nr. 56-58, S. 1179-1212; berichtigt GMBL. (2009) Nr. 28, S. 604.
- [5] Ziegler, C.; Rutscher, R.; Rühl, R.: Unterschätzte Abgasbelastung. sicher ist sicher – Arbeitsschutz aktuell (2014) Nr. 2, S. 91-95.
- [6] Hahn, A.; Begemann, K.; Burger, R.; Friedemann, M.; Hillebrand, J.; Meyer, H.; Kolbusa, R.; Gessmar, M.: Ärztliche Mitteilungen bei Vergiftungen 2008. Hrsg.: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin 2008. www.bfr.bund.de/cm/350/aerztliche_mitteilungen:bei_vergiftungen:2008.pdf
- [7] Expositionsbeschreibung „Einsatz von Flügelglättern“. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Frankfurt am Main 2016. www.bgbau.de, Webcode: 3087618.
- [8] Expositionsbeschreibung „Expositionen beim Einsatz von Stampfern und Rüttelplatten“. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Frankfurt am Main 2017. www.bgbau.de, Webcode: 3087618.
- [9] Expositionsbeschreibung „Expositionen gegenüber Dieselmotoremissionen (DME) von Baumaschinen und -fahrzeugen“. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Frankfurt am Main 2017. www.bgbau.de, Webcode: 3087618.
- [10] Expositionsbeschreibung „Einsatz von Kleinfräsen auf Asphaltflächen“. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Frankfurt am Main 2011. www.bgbau.de/gisbau/fachthemen/expo/doku/expokleinfraesen.pdf
- [11] Rathmann, K.; Ziegler, C.; Merkle, S.: Abgasreduzierung beim Betrieb von Glättmaschinen. BauPortal (2014) Nr. 1-2, S. 31-33.
- [12] Zoubek, G.; Berges, M.; Goebel, A.: Belastung durch Motorabgase beim Einsatz handgeführter Verdichtungsgeräte in Gräben. BauPortal (2009) Nr. 9, S. 518-525.
- [13] Stemmler, P.: Spezialtreibstoffe für Motorsägen und Laubgebläse. LSV Kompakt (2013) Nr. 1, S. 13.
- [14] CO-Vergiftungen beim Einsatz benzin- oder dieselbetriebener Maschinen in Räumen. INQA-Projekt der Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt am Main, August 2003 – Mai 2004.

¹⁾ www.bgbau.de/praev/arbeitsschutzpraemien