



MESSPLANUNG ZUR ÜBERWACHUNG VON GEFÄHRSTOFFEN IN DER LUFT BEI ARBEITEN IN KONTAMINIERTEN BEREICHEN

Handlungsanleitung für Planer und Ausführende – Teil 2: Praktische Durchführung der Messungen und Umgang mit Messgeräten

Dr. rer. nat. Christoph Emmel und Dipl.-Geol. Andreas Feige-Munzig, München

Einleitung

Der folgende Beitrag stellt eine Fortführung des Teils 1 mit gleichlautendem Titel (TIEFBAU 2/2005 [1]) dar, in dem die grundsätzlichen Voraussetzungen und Zielstellungen für eine sachgerechte Messplanung beschrieben wurden. Im Teil 2 werden Hinweise und Voraussetzungen zur praktischen Durchführung der Messungen und dem Umgang mit Messgeräten gegeben. Es wird gezeigt, welche Informationen aus dem während der Erkundungsphase gewonnenen Datenmaterial (Boden-, Material- oder Wasseranalysen) gezogen werden können und welche Unsicherheitsfaktoren zu berücksichtigen sind. Außerdem werden Abschätzungen und Berechnungen vorgestellt, die herangezogen werden können, um aufwändige und teure stoffspezifische Messverfahren durch einfachere Messverfahren und Leitparameter-Messungen zu ersetzen. Hierzu werden die Voraussetzungen und Grenzen der Verfahren ausgeführt. Schließlich werden Beispiele zur Festlegung von Schwellenwerten an Hand von Messdaten vorgestellt.

Durchführung von Gefahrstoff-Messungen

Die Art und Weise wo und wie eine Gefahrstoff-Messung durchgeführt wird, ist ent-

scheidend für die Qualität der Ergebnisse. So kann je nachdem an welcher Stelle und zu welchem Zeitpunkt eine Messung erfolgt, nahezu jeder Messwert erzeugt werden. Die engen Fehlergrenzen der Messung bzw. der evtl. nachfolgenden Analytik täuschen dann eine Genauigkeit vor, die im Extremfall völlig am Ziel der repräsentativen Beschreibung der Gefahr oder auch der Gefahrstoff-Exposition vorbeigeht. Angesichts dieser Problematik gewinnt die Festlegung der Vorgehensweise der praktischen Messdurchführung eine überragende Bedeutung (siehe Teil 1).

Folgende Fragen sind dabei zu beantworten: An welchem Ort, in welcher Höhe, wann, wie lange, mit welchen Geräten ist die Messung durchzuführen unter Berücksichtigung welcher Randparameter?

Für die weiteren Beschreibungen wird der Einfachheit halber sowohl für Messungen mit direktanzeigenden Messgeräten als auch für Probenahmen mit anschließender Analytik der Begriff „Messung“ bzw. für die Geräte „Messgeräte“ verwendet.

An welchem Ort wird gemessen?

Grundsätzlich erfolgt die Auswahl der zu überwachenden Arbeitsbereiche an Hand der Arbeitsbereichsanalyse (siehe Teil 1), d.h. unter Berücksichtigung wie der betreffende Arbeitsbereich beschaffen ist, welche Arbeiten unter welchen Umgebungs-

bedingungen dort durchgeführt werden, etc.. So ergeben sich für eine repräsentative Überwachung in der Regel 3 geeignete Standorte,

- wo in Bezug auf den zeitlichen Bauablauf zuerst mit einer Freisetzung von Schadstoffen zu rechnen ist,
- wo auf Grund der Tätigkeit (besonders Schaffung von frischen Oberflächen) und der Höhe der Kontamination die höchste Schadstoff-Exposition erwartet wird,
- wo die Beschäftigten vorrangig tätig sind.

Vor Ort ist zu klären, wo genau die Messung, z.B. stationär an der Person, erfolgen soll. Müssen z.B. händische Arbeiten an kontaminierten Material überwacht werden, so ist in der Regel eine personenbezogene Messung sinnvoll. Dies kann einerseits die personengetragene Messung sein, bei der dem Beschäftigten ein Messgerät „am Mann“ angebracht wird (Abb. 2). Arbeiten mehrere Beschäftigte im gleichen Arbeitsbereich, ist es häufig sinnvoller, das Messgerät neben den Beschäftigten stationär aufzustellen (personenbezogen-statio-

Abb. 2: Personenbezogene Messung, Probenahmegerät am Mann getragen



Abb. 1: Falscher Ort zur Platzierung des Messgerätes (s. im Vergleich Abb. 3)



näre Messung), als es einem der Arbeitnehmer mitzugeben. So kann es passieren, dass der messende Beschäftigte den Arbeitsbereich verlässt, z.B. um Teile zu holen, auf Toilette zu gehen etc., d.h. während dieses Zeitraumes würde für die anderen Beschäftigten keine Überwachung erfolgen. Die Festlegung einer Übergabe des Messgerätes an einen anderen Beschäftigten ist unrealistisch, da die Beschäftigten vor Allem ihre Arbeiten ausführen müssen und an die Überwachung in der Regel nur wenig Gedanken verschwenden.

In gleicher Weise ist die personenbezogene stationäre Messung auch dann sinnvoll, wenn eine personengetragene Messung rein aus praktischen Gründen nicht möglich ist. Dies kann auf Grund der Tätigkeit oder der Schwere der Arbeit der Fall sein, oder auch dann, wenn die jeweilige Tätigkeit mit so hoher Verschmutzung einhergeht, dass die Funktion des am Mann getragenen Messgerätes beeinträchtigt werden könnte. Hier bietet sich oftmals auch die Anbringung außen an Baugeräten an, wenn die Beschäftigten neben diesen Geräten tätig sind (Abb. 3).

Personenbezogene Messungen in den Fahrerkabinen von Baumaschinen werden zur Kontrolle der Anlagen zur Atemluftversorgung bzw. zur Optimierung der Filterwechselraten herangezogen.

Stationäre Messungen erfolgen an den Orten höchster Exposition. Dies können wiederum Messungen an Baugeräten, wie Baggern sein, da diese durch das Lösen und Absetzen von kontaminiertem Material neue Oberflächen schaffen und dadurch in besonderem Maß Gefahrstoffe freisetzen können.

In gleicher Weise ist eine Kontrolle von Schadstoff-Konzentrationen auch außerhalb des kontaminierten Bereiches sinnvoll, z.B. wenn die Büro- und Sozialräume an den kontaminierten Bereich angrenzen.

In welcher Höhe wird gemessen?

Üblicherweise erfolgt die Messung in Atemhöhe der Beschäftigten, d.h. die Messgeräte sind in Atem- oder Schulterhöhe anzubringen. Bei stationären Messungen ist zu beachten, dass die „Atemhöhe“ wesentlich von der Arbeitsposition des Beschäftigten abhängt: Tätigkeiten in aufrechter Position der Beschäftigten entspricht etwa einer Höhe von ca. 1,6 m, bei kniender oder sitzender Position ist dies erheblich niedriger.

Besteht die Gefährdung durch Gase oder Dämpfe, die schwerer als die Luft sind, z.B. H_2S , CO_2 (siehe auch Kapitel „Besondere Hinweise für spezielle Messaufgaben“), ist die Messung in Bodenhöhe (vorangehende Freimessung) bzw. in Hüfthöhe (personengetragene Messung) insbesondere an tiefen Stellen, Gruben oder in Schächten notwen-

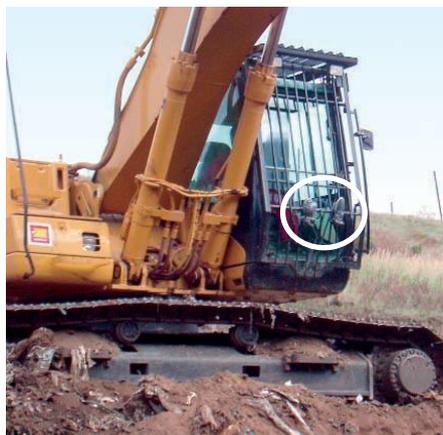


Abb. 3: Richtige Anordnung von Messgeräten an Erdbaumaschinen

dig. Dort kann zwar in Atemhöhe noch atembare Atmosphäre herrschen, wenige cm darunter aber nicht mehr, da sich diese Stoffe an tiefen Stellen bzw. im Bodenbereich anreichern können. So würde ein Beschäftigter schon beim Bücken vergiftet werden (H_2S) bzw. zuwenig Sauerstoff beim Einatmen bekommen und (zumeist) schlagartig bewusstlos werden können.

Werden Messgeräte an Baugeräten angebracht, so sollte die Anbringung außen an der Kabine in Abhängigkeit davon erfolgen, wer messtechnisch begleitet werden soll, entweder in Atemhöhe des Baugeräteführers oder in Atemhöhe des neben dem Baugerät arbeitenden Beschäftigten. Ein Sonderfall stellt der Bagger bei ebenerdigen Aushubmaßnahmen dar. Hier kann die Messung in Atemhöhe des Baggerfahrers erfolgen. Wie bereits oben beschrieben, werden die Stoffe vor Allem beim Abschütten bzw. Abrieseln des ausgehobenen Erdreiches freigesetzt. Üblicherweise nimmt der Bagger das Erdreich auf und hebt es mindestens in Augenhöhe des Baggerfahrers. Der Bagger vollführt dann zumeist eine Schwenkbewegung, um das Material abzuschütten. Bei diesen Schwenkbewegungen befindet sich

der Bagger regelrecht in der Schadstoffwolke.

Wann ist zu messen?

Ziel der Messungen ist, die Gefahrstoff-Exposition repräsentativ für den Zeitraum der Durchführung einer Tätigkeit zu erfassen. Je nach Gefährdungspotenzial (akute oder chronische Wirkung) und Messziel (Auslösung von Schutzmaßnahmen, Wirksamkeitskontrolle etc.) ergeben sich unterschiedliche Vorgaben für den Zeitpunkt und die Dauer der Messung.

Allen ist jedoch gemeinsam, dass während der Tätigkeiten am jeweiligen Arbeitsplatz gemessen werden muss, nicht davor, nicht danach. Denn bereits kurze Zeit nach Ende der Tätigkeiten nimmt die Schadstoff-Konzentration in der Luft rasant ab (Beispiel einer Abklingkurve nach Einstellung der Arbeiten, Abb. 4). Eine Messung nach Ende der Tätigkeit, z.B. während der Pause, liefert automatisch zu niedrige Werte, und das um so ausgeprägter, je später die Messung erfolgt.

Wie lange muss gemessen werden?

Die Frage, wie lange bzw. wie oft gemessen werden muss, richtet sich grundsätzlich nach dem Messziel, nach den stofflichen Gegebenheiten und nach der Konstanz der Rahmenbedingungen (gleiche Tätigkeiten, gleiche Kontamination, gleiche Witterung, siehe Teil 1).

Sollen Akutgefahren überwacht werden, ausgelöst z.B. durch Gase in Schächten und Kanälen, so hat die Messung kontinuierlich ununterbrochen über den gesamten Zeitraum der Tätigkeiten zu erfolgen. Repräsentative Messungen für die Expositionsabschätzung nachfolgender Tätigkeiten schließen sich hier aus. Ist eine kontinuierliche Messung aus technischen oder Kostengründen nicht möglich, so sind direkte Schutzmaßnahmen zu ergreifen (siehe Teil 1).

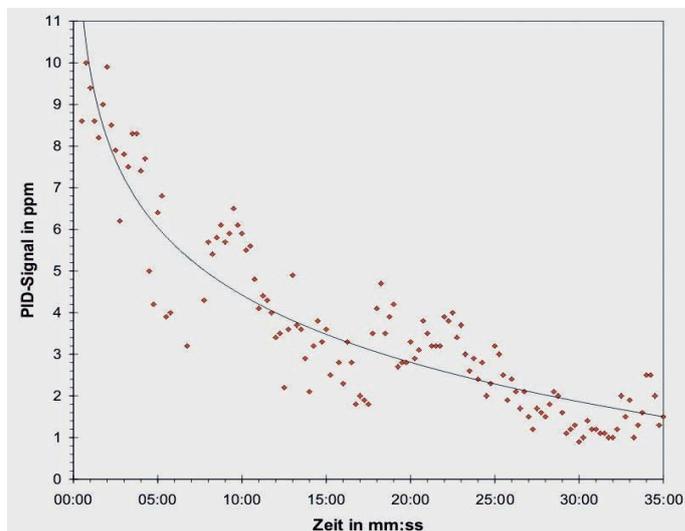


Abb. 4: Rasche Abnahme der Luftkonzentration nach Bodenbewegung (Aushub), Luftprobe über dem Haufwerk

Wird beim Auftreten von Stoffen mit chronischen (nicht-akut-toxischen) Wirkungen das Messziel „Auslösung von Schutzmaßnahmen“ verfolgt, ist bei unregelmäßigen Tätigkeiten oder im Fall, dass stark wechselnde Schadstoff-Konzentrationen in der Luft zu erwarten sind, ebenfalls eine kontinuierlich ununterbrochene Überwachung der Tätigkeiten notwendig. Dem steht gegenüber, dass für diese Stoffe nur selten direktanzeigende, Einzelstoff-auflösende Messgeräte zur Verfügung stehen. In solchen Fällen kann gegebenenfalls auf Summenparameter-Geräte zurückgegriffen werden. Verfahren zur Auswahl der Leitparameter und Festlegung der Alarmwerte sind in Kapitel „Abschätzungen, Bestimmung von Schwellenwerten und Leitparametern“ beschrieben.

Liegen konstantere Verhältnisse im zu erwartenden Stoffpotenzial, dem Emissionsverhalten der Stoffe, sowie den räumlichen und umgebungsbedingten Arbeitsbedingungen vor, so können in regelmäßigen Abständen durchgeführte Kontrollmessungen ausreichend sein. Es muss aber stets gewährleistet sein, dass die zu begleitende Tätigkeit repräsentativ erfasst wird, d.h. alle relevanten Arbeitsschritte und Rahmenbedingungen (Wind etc.) werden messtechnisch begleitet.

Häufig wird in diesem Zusammenhang die TRGS 402 [2] zitiert, die für Messverfahren verschiedener Messdauer Mindesthäufigkeiten vorgibt. Diese Vorgaben gelten insbesondere für stationäre Arbeitsplätze, die im Hinblick auf einen Kontrollmessplan beurteilt werden sollen (Festlegung der Kontroll-Häufigkeit bei Einhaltung oder sicherer Einhaltung der Grenzwerte).

Mit den Verhältnissen auf Baustellen hat dies jedoch wenig zu tun. Je nachdem, wie mehr oder minder konstant die Verhältnisse bei den Arbeiten sind, kann auf Baustellen ein zu überwachender Zeitraum von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden erforderlich sein, auch über den oft zitierten 2-Stunden-Zeitraum hinaus. Für diesen Zeitraum muss festgelegt werden, wie viele Messungen in Abhängigkeit von Messverfahren und Messdauer notwendig sind, um die Tätigkeit repräsentativ zu beschreiben. Eine Messung ist nicht automatisch dadurch repräsentativ, weil sie über einen Zeitraum von 2 Stunden erfolgte, sondern erst dann, wenn sie während der zu untersuchenden Tätigkeit erfolgte und alle die Exposition bestimmenden Ereignisse repräsentativ erfasst.

Was aber, wenn das Messverfahren für eine ausreichende Empfindlichkeit eine längere Messdauer benötigt, als die Tätigkeit dauert? In diesem Fall kann eine Erfassung der einzelnen Tätigkeit nicht erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, weitere Arbeitsschritte, die sich anschließen, in der einen Messung zusammen zu fassen. Eine andere

Möglichkeit ist die wiederholte Messung der gleichen Tätigkeiten, z.B. durch Sammlung der Schadstoffe auf Probenträger, bis die für das Messverfahren notwendige Mindestmessdauer erreicht ist. Diese Variante setzt aber voraus, dass die Messungen bzw. Probenahmen gezielt erfolgen, sinnvollerweise durch einen Messtechniker, da hier die genauen Probenahmezeiten, -orte und die vorherrschenden Randbedingungen genauestens dokumentiert und zu einer gemeinsamen Bewertung zusammengeführt werden müssen.

Allgemeine Vorgehensweise beim Umgang mit Messgeräten

Für die Messungen steht eine Vielzahl von Geräten zur Verfügung, deren Bedienung in den vergangenen Jahren immer weiter vereinfacht wurde, so dass auch ungeschultes Personal nach einer kurzen Einweisung Messungen durchführen kann. Dies ist trügerisch, denn einfache Bedienung bedeutet nicht, dass auch die den Messungen zu Grunde liegenden Verfahren und die Voraussetzungen für die Anwendung der Geräte ebenfalls so einfach zu handhaben sind.

Unsachgemäße Bedienung und unsachgemäßer Einsatz führen zu falschen Ergebnissen, die dann meist unberechtigterweise den Geräten angelastet werden. Daher werden im Folgenden die grundlegenden Anforderungen an den Umgang mit Messgeräten beschrieben.

Einsatztägliche Funktionsprüfung und Wartung

Jedes Messgerät ist einsatztäglich auf ordnungsgemäße Funktion zu prüfen. Hierzu wird das Gerät für einen kurzen Zeitraum, in der Regel 1 bis 2 Minuten, mit einem an die Messaufgabe angepassten Prüfgas beschickt. Das Messgas enthält entweder die zu messenden Stoffe, z.B. Sauerstoff O_2 , Methan CH_4 , Schwefelwasserstoff H_2S , Kohlendioxid CO_2 , oder Referenzgase, z.B. Isobuten, Propan, in bestimmten Konzentrationen. Zeigt das Gerät die im Prüfgas enthaltenen Konzentrationen an und sinken die Werte bei Umgebungsluft auf Null, z.B. toxische Gase, bzw. auf die Umgebungsbedingungen, z.B. Sauerstoff, kann das Gerät für die Messungen eingesetzt werden. Angesichts des Umstands, dass elektrochemische Sensoren (insbesondere CO_2 -Sensoren) u.A. durch das Faulgas H_2S oder andere leichtflüchtige Schwefelverbindungen „vergiftet“ werden, ist die einsatztägliche Funktionsprüfung sowie die Wartung dieser Sensoren von besonderer Bedeutung. Beim Einsatz dieser Sensoren in Atmosphären mit solchen „Sensorengiften“ können sich die vom Hersteller genannten standard-

mäßigen Wartungsintervalle erheblich verkürzen. Eine entsprechende Nachfrage beim Hersteller wird empfohlen, die auch entsprechende Zusatzeinrichtungen zum Ausfiltern von Sensorgiften anbieten. Andererseits kann auch die Verwendung anderer als elektrochemischer Sensoren rentabler sein, z.B. die CO_2 -Überwachung mit Sensoren auf Infrarot-Basis.

Um die Kosten für das Prüfgas von Ex-Messgeräten zu sparen ist es ein häufiger Fehler, Feuerzeug-Gas zu verwenden für die Kontrolle „ob das Gerät es noch tut“, ausschließlich mit negativen Folgen. Zum Einen wird nur geprüft, ob sich die Anzeige irgendwie ändert, ohne dass die Kalibrierung selbst und das richtige Ansprechverhalten überprüft werden kann. Zum Anderen schädigt das Gas insbesondere die elektrochemischen Sensoren, deren Lebensdauer drastisch reduziert wird (Kostenfalle).

Reinigung und Wartung der Messgeräte

Wenig Beachtung findet, dass nach dem Einsatz nicht nur das Gerät äußerlich zu reinigen ist, sondern auch die Sensoren der Messgeräte gereinigt werden müssen. Dies geschieht in der Regel durch Laufen lassen der Geräte in sauberer Umgebungsluft. Hintergrund hierfür ist, dass während der Messung Gefahrstoffe in die Prüfkammer der Sensoren gelangen, die durch die saubere Luft herausgespült werden müssen. Wird das Messgerät jedoch direkt in der belasteten Atmosphäre ausgeschaltet, verbleiben die Stoffe in der Prüfkammer und können sich dort niederschlagen, was später sowohl zu falsch positiven Messwerten (falscher Alarm → vermeidbare Kosten) als auch zu falsch negativen Messwerten (verspäteter Alarm → Gefährdung der Beschäftigten) führen kann. Die Reinigung der Sensoren ist zeitnah durchzuführen, denn je länger die Gefahrstoffe im Sensor verbleiben, desto schlechter sind sie durch reines „Luft-Spülen“ wieder zu entfernen. Ebenso müssen eingebaute Filtermedien rechtzeitig ausgetauscht werden, um eine Verschleppung der Schadstoffe vom Filter in die Messzelle/den Sensor zu unterbinden.

Querempfindlichkeiten

Solange nur ein Gefahrstoff in der Luft überwacht werden muss, kann aus einer Vielzahl von Messgeräten geschöpft werden. Bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen sind in der Regel jedoch mehrere Stoffe mit unterschiedlichen toxischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften vorhanden, die in die Gasphase übertreten können. Selbst dann, wenn die Gefährdung nur von einem Stoff dieses Gemisches verursacht wird und die anderen keine toxischen Eigenschaften besitzen, können diese Stoffe die Messung erheblich stören, sogar unmöglich machen, wenn die ausgewählte

Messmethode nicht nur den „gefährlichen“, den „relevanten“ Stoff erfasst, sondern auch auf die „uninteressanten“ Stoffe reagiert. So stört z.B. das Vorhandensein von Methan die Messung von BTEX-Aromaten mittels PID in falsch-negativer Richtung, da das Signal durch das Methan gedämpft wird. Es ist daher nicht nur zu ermitteln, ob der relevante Stoff vom ausgewählten Messverfahren in hinreichender Empfindlichkeit und Genauigkeit erfasst wird, sondern auch, ob andere, ebenfalls auf der Baustelle vorkommende Stoffe, von dem Messverfahren erfasst werden und welche Auswirkungen dieser Umstand auf die Messung hat.

Zum Teil kann das Problem durch Zusatzeinrichtungen des Messgerätes gelöst werden, wie Aktivkohlefilter bei der CO-Bestimmung mit elektrochemischen Sensoren. In anderen Fällen muss auf ein anderes Messverfahren zurückgegriffen werden.

Abschätzungen, Bestimmung von Schwellenwerten und Leitparametern

Vor Beginn einer Sanierungsmaßnahme stehen in der Regel lediglich die Erkundungsdaten, wie Boden-, Wasser- oder Bodenluftanalysen zur Verfügung. Für die anstehenden Arbeiten stellt sich natürlich die Frage, in wie weit und insbesondere unter welchen Einschränkungen diese Daten für erste Abschätzungen und Bewertungen der möglichen Schadstoffexposition auf der Baustelle bzw. für die Vorgaben (Schwellenwerte, Leitparameter) für Gefahrstoffmessungen herangezogen werden können.

Im ersten Schritt in diese Richtung sind die Stoffe an Hand ihres bei den Arbeiten zu erwartenden Aggregatzustandes bzw. ihrer Erscheinungsform (Gefahrenanalyse) in 2 Gruppen zu unterteilen:

- gas- bzw. dampfförmige Stoffe,
- staubförmige bzw. partikelgebundene Stoffe.

Innerhalb dieser Gruppen kann je nach Stoffbestand der kontaminierten Baustelle eine weitere Unterteilung im Hinblick auf die von den Stoffen ausgehenden und messtechnisch zu überwachenden Gefahren notwendig werden, z.B. brennbare Stoffe, akut oder chronisch toxische Stoffe, etc. (siehe Gefahrenanalyse zur Gefährdungsbeurteilung [2]).

Zusammenführung von Stoffspezifischen Konzentrationen in Gemischen – tätigkeitsbezogener Bewertungsindex

Die folgende Variante besitzt die höchste Sicherheit in der Bewertung der Messungen und ihrer Auswirkungen: Im Arbeitsbereich werden verschiedene Stoffe in der Luft

nachgewiesen, für die alle ein geeignetes Messverfahren zur quantitativen Bestimmung eingesetzt wird. Somit erhält man eine Reihe von Konzentrationsangaben, die zu einem sog. Bewertungsindex (Schwellenwert zur Auslösung von Maßnahmen) zusammengeführt werden müssen. Unter der Annahme, dass sich die toxischen Wirkungen von Gefahrstoffen zumeist zu einer Gesamtwirkung addieren, gibt die TRGS 403 [4] eine Methodik vor, wie Stoffe mit gleicher Wirkung auf den menschlichen Organismus zu einem Bewertungsindex zusammengefasst bewertet werden können.

In einem ersten Schritt werden für jeden einzelnen Gefahrstoff die Bewertungsindizes ermittelt, indem das Verhältnis von gefundener Konzentration zur Konzentration des jeweiligen Grenzwertes gebildet wird. Diese stoffspezifischen Bewertungsindizes werden zu einem Bewertungsindex für das Gesamt-Gemisch aufsummiert (1):

$$BI_{\text{Gemisch}} = BI_1 + BI_2 + \dots = \frac{C_1}{AGW_1} + \frac{C_2}{AGW_2} + \dots$$

BI_1, BI_2 : stoffspezifische Bewertungsindizes

BI_{Gemisch} : Bewertungsindex für ein Substanzgemisch

C_1, C_2 : in der Luft nachgewiesene Schadstoff-Konzentration

AGW_1, AGW_2 : Arbeitsplatz-Grenzwert (früher: MAK-Wert)

Schutzmaßnahmen sind immer dann zu ergreifen, wenn der Bewertungsindex für das Gemisch überschritten ist. Die weiteren Voraussetzungen sind der TRGS 403 zu entnehmen. Dieses Verfahren ist für alle Stoffe (gas-, dampfförmig, partikelgebunden) geeignet.

Entgegen der Definition der TRGS 403, die die Exposition über eine ganze Schicht betrachtet, beschreibt der im Folgenden verwendete tätigkeitsbezogene Bewertungsindex die Schadstoff-Situation allein für den Zeitraum der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit. Er entspricht dann dem Bewertungsindex nach TRGS 403, wenn die Tätigkeit über die gesamte Schicht ausgeführt wird. Angesichts der wechselnden Tätigkeiten und Arbeitsbereiche auf Baustellen ist dies nur selten gegeben. So bietet dieser

tätigkeitsbezogene Bewertungsindex die Möglichkeit, die Gefährdung der Beschäftigten, die bei unterschiedlichen Tätigkeiten auftreten, untereinander zu vergleichen.

Gase und dampfförmige Stoffe

Bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen liegen häufig Stoffgemische gas- und dampfförmiger Stoffe vor, deren Einzelkomponenten während der Arbeiten in der Regel gar nicht oder nur mittels teurer Messtechnik vollständig erfasst werden können. Je nach Qualität der Daten aus der Erkundung können aber auch für diese Stoffe Leitparameter und Alarmwerte für die Messungen abgeleitet werden. Auch hier gilt, dass die Freisetzung der Stoffe nicht nur von der Konzentration im Boden, sondern in erheblichem Maß von den Eigenschaften der Stoffe (Dampfdruck, Löslichkeitsverhalten, Komplexbildung etc.) und des Bodens (pH, Bindungsvermögen, Feuchtigkeit etc.), sowie von der Tätigkeit, d.h. Art der Freisetzung, abhängt.

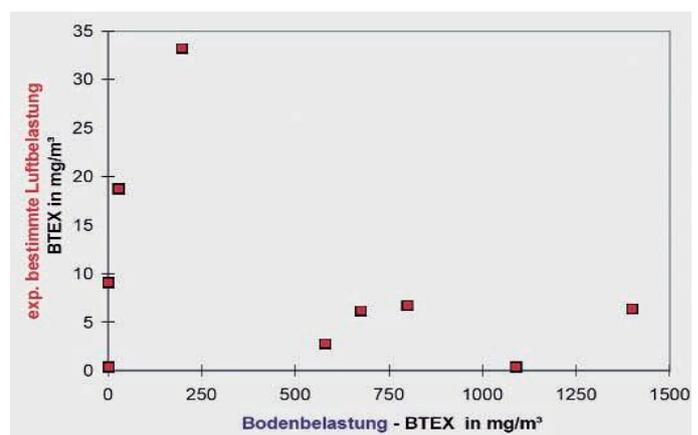
In der Regel besteht kaum ein Zusammenhang zwischen den im Arbeitsbereich vorgefundenen Bodenkonzentrationen und in der Luft nachgewiesenen Konzentrationen (Abb. 5).

So kann z.B. ein Stoff A, der im Material in höherer Konzentration vorliegt als Stoff B, auf Grund der o.g. Parameter während der Arbeiten in geringeren Mengen ausdampfen als Stoff B. In diesem Fall bietet sich eine direkte Messung der Schadstoffe in der Luft, z.B. bei einem Probeschurf an. Mit Hilfe der unten am Beispiel zum Einsatz eines Photoionisationsdetektors (PID) beschriebenen Verfahren können Alarmwerte für Summenparameter bestimmt werden.

Festlegung eines Summenparameters als Leitparameter für Stoffgemische

Verschiedene direktanzeigende Messgeräte, wie PID (Photoionisationsdetektor), FID (Flammenionisationsdetektor) etc. reagieren nicht spezifisch auf eine Substanz, sondern auf ganze Stoffgruppen. Tritt nur eine Substanz in der Luft auf und ist das Ansprechverhalten des Gerätes auf diese Sub-

Abb. 5:
(Fehlender) Zusammenhang zwischen Konzentrationen in Böden aus Erkundungsdaten und den im betreffenden Arbeitsbereich in der Luft nachgewiesenen Schadstoff-Konzentrationen



stanz (response) bekannt, kann bei der Messung direkt auf die Schadstoff-Konzentration in der Luft geschlossen werden.

In der Praxis werden Korrekturfaktoren oder Ansprechfaktoren für die Geräte angegeben, mit denen die unterschiedliche Empfindlichkeit des Gerätes beim Messen ausgeglichen werden kann. Dies bedeutet, dass je empfindlicher ein Gerät auf eine Substanz anspricht, umso kleiner ist der angegebene Korrekturfaktor (2).

$$\text{Korrekturfaktor} = \frac{\text{Empfindlichkeit der Referenzkomponente}}{\text{Empfindlichkeit der Messkomponente}}$$

Es ist dabei zu beachten, dass für jedes Gerät eigene Korrekturfaktoren gelten, da sich PIDs in Bauart und Form unterscheiden können. Dies gilt in gleicher Weise auch für alle anderen Messgeräte.

Komplizierter werden die Verhältnisse bei Gemischen. Die Stoffe besitzen unterschiedliche toxische Eigenschaften und Grenzwerte und sie werden von den Messgeräten unterschiedlich gut detektiert.

Ist nun die Zusammensetzung der Schadstoffe in der Luft bekannt, so können die jeweiligen Anteile der Stoffe am Summensignal unter Berücksichtigung der response-Faktoren aufgelöst und gemäß der TRGS 403 ins Verhältnis gesetzt und zu einem Bewertungsindex des Gemisches wieder zusammengeführt werden.

Wie ist das praktisch durchzuführen?

Eine Beispiel-Rechnung soll die nachfolgend beschriebene Methodik erläutern: Mittels einem Probeschurf und klassischer Luftanalytik mit Probenahme auf Probenträger und anschließender Analyse am Gaschromatographen wurden in der Luft die Kohlenwasserstoffe Butylacetat, Cyclohexan, Diethylether, Ethylbenzol und Styrol in verschiedenen Konzentrationen nachgewiesen (Tab. 1a).

Für dieses Gemisch wird gemäß Gleichung (1) formal für jeden einzelnen Stoff ein Bewertungsindex BI berechnet: Division der Konzentration durch den AGW (s.o.). Diese stoffspezifischen BI werden zu einem Gesamt-BI für das Gemisch aufaddiert, ohne

dass, wie es gemäß TRGS 403 ausgeführt werden sollte, die Stoffe mit BI < 0,1 unberücksichtigt blieben. Im vorgegebenen Beispiel erreicht der Bewertungsindex für das Stoffgemisch einen Wert von 0,346. Bei einem BI_{Gemisch} = 1 ist die Konzentration der „imaginäre“ Grenzwert für das Gemisch erreicht und es sind Schutzmaßnahmen zu treffen.

Im zweiten Schritt werden die in der Luft gemessenen Konzentrationen der einzelnen Stoffe durch die Substanz-spezifischen Korrekturfaktoren dividiert (3).

$$\text{PID-Signal}_{\text{Isobuten}} [\text{ppm}] = \frac{\text{Konzentration der Messkomponente} [\text{ppm}]}{\text{Korrekturfaktor}}$$

Hierdurch erhält man jeweils die Signale, die die Einzelsubstanzen bei einem auf Isobuten eingestellten PID hervorrufen würden (Tab. 1b). Die Summe der Einzelsignale liefert den Wert, den das Gemisch, das mit der klassischen Analytik bestimmt wurde, am PID hervorrufen würde. Für das beschriebene Beispiel bedeutet dies, dass, obgleich die Summe der Einzelstoffe einer Konzentration von 44,9 ppm entspricht, am PID eine Konzentration von 34,7 ppm angezeigt würde.

Das berechnete PID-Signal für das Gemisch entspricht dem eingangs berechneten formalen Bewertungsindex für das Gemisch. Somit kann mittels Dreisatz diejenige am PID angezeigte Konzentration berechnet werden, bei der der Wert für den Bewertungsindex bei 1,0 liegt. Dieser Wert stellt unter Normalbedingungen dann den Schwellenwert dar, ab dem Maßnahmen, wie z.B. Einsatz von PSA, ausgelöst werden müssen. In unserem Beispiel beträgt der Wert 100,6 ppm.

In die Festlegung des Alarmwertes fließen neben der formalen Berechnung die Überlegungen der Gefährdungsbeurteilung ebenso ein wie Überschlagsrechnungen, wie gesichert und repräsentativ die vorab bestimmte Zusammensetzung der Stoffe in der Luft ist. Um den resultierenden Unsicherheiten Rechnung zu tragen, wird daher häufig ein niedrigerer Alarmwert angesetzt.

Festlegung eines Leitparameters für Stoffgemische allein an Hand des Schadstoffinventars

Ist die Zusammensetzung der Stoffe in der Luft nicht bekannt (z.B. Daten nur aus Materialproben) bzw. nicht konstant, so kann im Rahmen der Gefahrenanalyse zumindest die „gefährlichste“ Substanz bestimmt werden, die als Leitparameter für die ersten Überwachungsmessungen herangezogen werden kann. In diesem Fall werden alle anderen mit dem ausgewählten Messverfahren erfassten Stoffe als die gefährlichste Substanz interpretiert, so dass bei Unterschreiten des Alarmwertes eine Gefährdung der Beschäftigten ausgeschlossen werden kann. Angesichts der niedrigen Alarmwerte aus der worst-case-Betrachtung ist es jedoch sinnvoll, bei Beginn der Arbeiten den Alarmwert an Hand der Auswertung von Luftprobenahmen an die Gegebenheiten anzupassen.

Die Bestimmung des Leitparameters „gefährlichster Stoff“ geschieht nach folgendem am Beispiel PID dargestellten Verfahren, das auch anzuwenden ist, wenn die Zusammensetzung des Schadstoff-Gemisches in der Luft nicht stabil ist, denn auch hier ist nur eine worst-case-Abschätzung möglich.

Die „Gefährlichkeit“ eines Stoffes richtet sich nach seiner Toxizität, Art und Umfang der Freisetzung bei der Tätigkeit und der Möglichkeit, ihn sicher mit dem gewählten Messverfahren nachzuweisen. Dazu gibt es ein formales Verfahren, wie die Stoffe zumindest gemäß ihrer Toxizität und Detektierbarkeit in eine Rangfolge eingestuft werden können.

Ein Beispiel:

Auf der Baustelle wurden die bereits oben beschriebenen Stoffe Butylacetat, Cyclohexan, Diethylether, Ethylbenzol und Styrol nachgewiesen. Im Gegensatz zum vorigen Beispiel sollen die Konzentrationsverhältnisse der Stoffe untereinander nicht bekannt bzw. stark variierend sein. Die Messung soll trotzdem mit Hilfe eines Photoionisationsdetektors erfolgen.

Betrachtet man die Arbeitsplatz-Grenzwerte für diese Stoffe in Tabelle 2a, so ist Styrol durch den niedrigsten Grenzwert als der

Tabelle 1a: Beispielwerte einer Luftanalyse auf einer Baustelle – an Hand der vorliegenden Messergebnisse wird mit Hilfe der Konzentrationen der AGWs ein formaler Bewertungsindex für das Gemisch berechnet

Substanz	Konzentration (GC)/ppm	Luftgrenzwert AGW/ppm	Bewertungsindex BI/1
Butylacetat	15,5	100	0,155
Cyclohexan	12,1	200	0,061
Diethylether	13,7	400	0,034
Ethylbenzol	2,1	100	0,021
Styrol	1,5	20	0,075
Summe			0,346

Tabelle 1b: Berechnung des PID-Signals für das Gemisch bei Einstellung des PID auf Isobuten als Referenzsubstanz – obwohl 44,8 ppm der Gefahrstoffe in der Luft sind, werden 34,7 ppm Isobuten-Äquivalente angezeigt

Substanz	Konzentration (GC)/ppm	Korrekturfaktor (PID)	PID-Signal (Isobuten)/ppm
Butylacetat	15,5	2,6	6,0
Cyclohexan	12,1	1,4	8,6
Diethylether	13,7	1,1	12,5
Ethylbenzol	2,1	0,52	4,0
Styrol	1,5	0,42	3,6
Summe	44,9		34,7

toxischste Stoff einzustufen. Auf der anderen Seite ist am kleinsten Korrekturfaktor (mittlere Spalte) zu erkennen, dass von den aufgeführten Stoffen Styrol am besten mittels PID zu detektieren ist.

Zur Bestimmung des „gefährlichsten Stoffes“ ist das Verhältnis zwischen Toxizität (AGW) und der Empfindlichkeit des PID (Korrektur-Faktor) zu bewerten. Dazu bildet man einfach das Verhältnis AGW/Korrekturfaktor (4).

$$\text{Gefährlicher Stoff (PID)} = \frac{\text{Arbeitsplatz-Grenzwert (AGW)}}{\text{Korrekturfaktor}}$$

Für eine grafische Auswertung trägt man die Grenzwerte gegen die Korrekturfaktoren auf (Abb. 6). Zieht man nun ausgehend vom Nullpunkt zu den Spitzen Geraden, so bezeichnet die Gerade mit der geringsten Steigung (flachste Gerade), diejenige Substanz, auf deren Parameter der PID für die Messung eingestellt werden muss.

So zeigen Berechnung und grafische Darstellung, dass trotz seines geringen Grenzwertes nicht das Styrol die Vorgaben für die PID-Einstellung liefert, sondern das deutlich weniger toxische, aber auch schlechter detektierbare Butylacetat.

Was bedeutet das für das gewählte Beispiel? Zur Berechnung, wie hoch die Anzeige des auf Butylacetat eingestellten PIDs für das Gemisch ist, müssen die Konzentrationen der Stoffe nochmals umgerechnet werden, denn die bisher verwendeten Korrekturfaktoren beziehen sich auf Isobuten. Zur Umrechnung der Korrekturfaktoren auf die Referenzsubstanz Butylacetat wird gemäß (5)

$$\text{Korrekturfaktor (PID}_{\text{Butylacetat}}) = \frac{\text{Korrekturfaktor (Messkomponente)}}{\text{Korrekturfaktor (Butylacetat)}}$$

das Verhältnis der Korrekturfaktoren gebildet und im Anschluss die Höhe der Anzeige des auf Butylacetat eingestellten PIDs berechnet (Tab. 2b). Im vorliegenden Beispiel erhält man eine PID-Anzeige für das Gemisch einen Wert von 90,2 ppm. Dies entspricht mit einem Bewertungsindex von 0,9 eine Überbewertung der wahren Konzentrationsverhältnisse ($BI_{\text{Gemisch real}} = 0,346$) um den Faktor von 2,6.

Tabelle 2a: Beispiel-Daten für die Abschätzung der gefährlichsten Substanz im Hinblick auf die Messung eines Substanzgemisches mit Hilfe eines PIDs ohne Kenntnis der genauen Luft-Zusammensetzung

Substanz	Grenzwert AGW/ppm	Korrekturfaktor (PID)	Verhältnis AGW/Korr.-Faktor
Butylacetat	100	2,6	38,5
Cyclohexan	200	1,4	148,9
Diethylether	400	1,1	363,6
Ethylbenzol	100	0,52	192,3
Styrol	20	0,42	47,6

Substanz	Konzentration (GC)/ppm	Korrekturfaktor (PID _{Butylacetat})	PID-Signal (Butylacetat)/ppm	BI _{Butylacetat} (AWG 100 ppm)
Butylacetat	15,5	1	15,5	0,155
Cyclohexan	12,1	0,54	22,5	0,225
Diethylether	13,7	0,42	32,4	0,324
Ethylbenzol	2,1	0,20	10,5	0,105
Styrol	1,5	0,16	9,3	0,093
Summe:			90,2	0,9

Tabelle 2b: Anwendung der Abschätzung der gefährlichsten Substanz auf das Beispiel in Tabelle 1b – der PID wird auf Butylacetat eingestellt, alle Stoffe werden daher als Butylacetat interpretiert: In diesem Fall ergibt die PID-Messung einen Wert von 90,2 ppm, was einem BI von 0,9 entspricht. Dieser Wert ist um den Faktor 2,6 höher als bei genauer Kenntnis der Zusammensetzung (Tabelle 1a: $BI_{\text{Gemisch}} 0,346$)

Staub und partikelgebundene Stoffe

Staub ist auf den Baustellen ein alltäglicher Gefahrstoff, dem eine grundsätzliche toxische Wirkung in Abhängigkeit von der Größe der Partikel zugeordnet wird. Der Luftgrenzwert für Staub, „Allgemeiner Staubgrenzwert“ genannt, gilt für alle staubförmigen bzw. partikelgebundenen Stoffe unabhängig von ihren toxischen, irritativen oder anderen möglichen Wirkungen. Es darf also nie mehr Staub in der Luft in Arbeitsbereichen sein, als es dieser Grenzwert erlaubt. Der Allgemeine Staubgrenzwert unterscheidet 2 Fraktionen:

- Die sog. A-Fraktion (alveolengängige Fraktion, früher Feinstaub) beschreibt die Partikel, die auf Grund ihrer Größe bis in die Lunge zu den Alveolen (Lungenbläschen) vordringen können, (siehe TRGS 900 [5], Kennzeichnung „A“ beim Luftgrenzwert).
- Die E-Fraktion (einatembare Fraktion, früher Gesamtstaub) beschreibt den Massenanteil der Partikel, der durch

Mund und Nase eingeatmet werden kann (Teilchengröße < 100 µm). Sie beinhaltet dabei auch die A-Fraktion, (siehe TRGS 900 [5], Kennzeichnung „E“ beim Luftgrenzwert).

Es gibt darüber hinaus weitere Fraktionen (z.B. thorakale Fraktion, die jedoch nicht für die Grenzwertbetrachtung herangezogen wurden).

Faserförmige Stäube, z.B. von Asbest, KMF oder auch biologischen „Gefahrstoffen“ wie Baumwolle oder dergleichen werden nach anderen Kriterien eingeteilt, die in diesem Beitrag nicht ausgeführt werden können.

Abschätzung der Staubexposition an Hand von Staub-Fraktion-Messungen

Für die Messung der Staubfraktionen stehen je nach Messziel verschiedene Verfahren zur Verfügung. Für Kontrolluntersuchungen werden Luftstaubproben mit Hilfe von speziellen Probenahmesystemen gesammelt und im Labor ausgewertet. Die Probenahmedauer bewegt sich dabei üblicherweise in der Größenordnung 2 Stunden. Der Vorteil besteht darin, dass für die

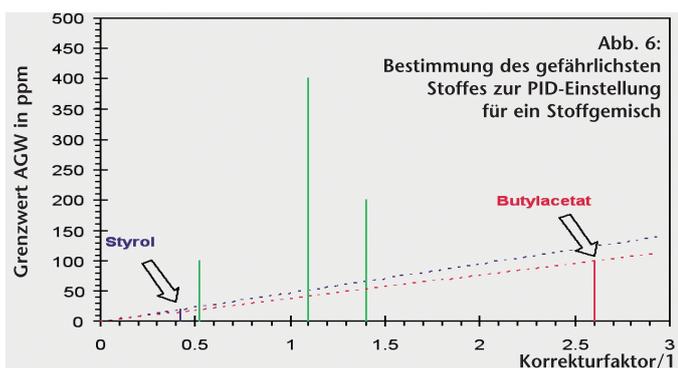
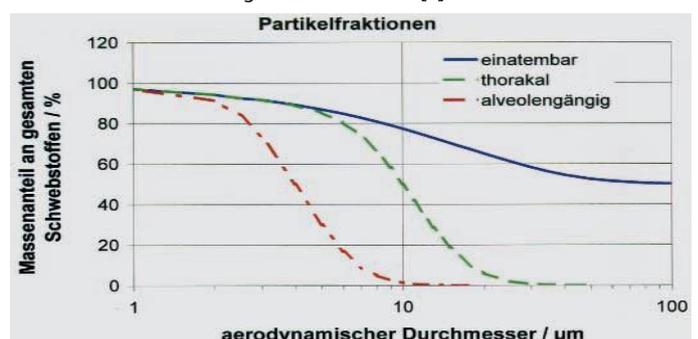


Abb. 7: Partikelfraktionen gemäß DIN EN 481 [6]



verschiedenen Fraktionen standardisierte Probenahmesysteme zur Verfügung stehen. Auf der anderen Seite liegen verfahrensbedingt die Analyseergebnisse oft erst lange nach der Probenahme vor, für schnelle Entscheidungen bzgl. Schutzmaßnahmen taugt dieses Verfahren nicht.

Soll eine Vor-Ort-Überwachung erfolgen, so ist derzeit für den Einsatz auf Baustellen vor Allem das Streulichtphotometer geeignet. Einfachere Geräte können nur bestimmte Teil-Fractionen erfassen, die nicht mit der A- oder E-Staubfraktion übereinstimmen müssen. Während alle diese direktanzeigenden Geräte ohne Weiteres für Relativmessungen, z.B. zur Bestimmung der Orte und Tätigkeiten mit höherer Staubexposition, herangezogen werden können, ist für quantitative Aussagen der Abgleich mit den realen Staubverhältnissen auf der Baustelle notwendig: Parallele Bestimmung mittels direktanzeigendem Gerät und Probenahme/Analyse mit klassischen Staubprobensystemen als Referenzwert.

Mittlerweile gibt es schon direktanzeigende Geräte auf dem Markt, die bereits nach Partikelgrößen und Fraktionen differenzieren können und mit eingebauten Filtern eine anschließende Kalibrierung über den gesammelten Staub ermöglichen.

Abschätzung der Konzentration von partikelgebundenen Stoffen an Hand des Leitparameters „Staub-Fraktion“

Bei Stäuben von Stoffen mit stoffspezifischen Wirkungen ist die Konzentration der im Staub gebundenen Gefahrstoffe (partikelgebundene Stoffe) zu bestimmen und mit den jeweiligen stoffspezifischen Luftgrenzwerten zu vergleichen. Hierfür gibt es keine direktanzeigenden Messgeräte. Die partikelgebundenen Stoffe wie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Schwermetalle oder auch der Quarzgehalt im Staub können häufig nur durch aufwändige Verfahren in der Luft quantitativ erfasst werden, wobei vor Allem der Faktor Zeit eine große Rolle spielt.

Eine Möglichkeit zur messtechnischen Überwachung ist die Zuhilfenahme des sog. Allgemeinen Staubgrenzwertes und der Bildung eines Leitparameters „Staub“, genauer gesagt des Leitparameters „Staub-Fraktion“. Die Grenzwerte für die partikelgebundenen Stoffe beziehen sich jeweils auf eine Staubfraktion, zumeist der E-Fraktion, in Einzelfällen (DME, Quarz etc.) beziehen sich die Grenzwerte auf die A-Fraktion.

Wurden mittels quantitativer Analysen die Konzentrationen der Stoffe in der entsprechenden Staub-Fraktion gemessen, so kann abgeschätzt werden, ob und inwieweit deren spezifischen Luftgrenzwerte unter- oder überschritten werden, wenn der allgemeine Staubgrenzwert für die entsprechende Staubfraktion eingehalten wird.

Im 1. Schritt wird an Hand der Analysen-

werte und der vorgegebenen Staubkonzentration die Konzentration des Stoffes in der Luft berechnet (6).

$$\text{Stoffkonzentration} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{\text{Staubkonzentration} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \times \text{Stoffkonzentration} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{10^6}$$

Stoffkonzentration:

gesuchte Konzentration
des Stoffes in der Luft in mg/m³

Staubkonzentration:

vorgegebene Staub-Konzentration
in der Luft bei Erreichen des AGW

E-Fraktion: 10 mg/m³

A-Fraktion: 3 mg/m³

10⁶: Umrechnungsfaktor von kg auf mg

Ein Beispiel:

Auf einer Baustelle ist Blei nachgewiesen worden mit einer Konzentration bis maximal 100 mg/kg in der E-Fraktion. Blei und seine Verbindungen haben einen Grenzwert von 0,1 mg/m³ bezogen auf die E-Fraktion. Geht man davon aus, dass auf der Baustelle die Konzentration des allgemeinen Staubgrenzwert von 10 mg/m³ für die E-Fraktion erreicht wird, so kann man gemäß der folgenden Berechnung für diese Bedingungen die Konzentration an Blei in der Luft abschätzen: Die Konzentration würde 0,001 mg/m³ Blei betragen. Dies entspräche etwa 1/100 des Blei-Grenzwertes (7, 8).

$$\text{Bleikonzentration} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{10_{(E\text{-Fraktion})} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \times 100_{(\text{Blei im Staub})} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{10^6} = 0,001 \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$B_{\text{Blei}} = \frac{\text{Bleikonzentration}}{\text{AGW}_{\text{Blei}}} = \frac{0,001 \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]}{0,1 \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]} = 0,01$$

In einem 2. Schritt werden gemäß Gleichung (1) die stoffspezifischen Bewertungsindices gebildet, die zu einem Bewertungsindex für das Gemisch zusammengeführt werden.

Die bestimmenden Voraussetzungen zur Anwendung dieses Verfahrens sind dabei:

- die Beprobung erfasst die richtige Staub-Fraktion,
- die stoffliche Zusammensetzung der Staubfraktion ist repräsentativ für den zu untersuchenden Arbeitsbereich bzw. die zu überwachenden Tätigkeiten,
- die stoffliche Zusammensetzung des zu bearbeitenden „staubenden“ Materials ändert sich nicht oder nur zum Vorteil,
- die räumliche Verteilung der Stoffe ist konstant oder so bekannt, dass eine kurzfristige Reaktion auf Änderungen im Material vorgeplant werden kann.

Dies bedeutet, dass der wesentliche Grundstein zur Anwendung dieses Verfahrens in

der Planungsphase, in der Ermittlung der Gefahrstoffe und der Gefahrenanalyse liegt. Andernfalls sind die Verhältnisse durch häufige Kontrollmessungen (Staub-Probenahmen mit entsprechenden Analysen) zu überprüfen und die Festlegung des einzuhaltenden Schwellenwertes anzupassen.

Ein Problem ist die rechtzeitige Gewinnung des Staubes, d.h. bestenfalls noch vor Aufnahme der eigentlichen Arbeiten. Dies kann z.B. mit Hilfe von Probearbeiten geschehen, wobei die dabei angewandten Arbeitsverfahren mit den zur Ausführung vorgesehenen Verfahren identisch, zumindest aber vergleichbar sein müssen und diese Probearbeiten an einem Ort mit den höchsten festgestellten Konzentrationen auszuführen sind. Ist also die Stoffverteilung im zu bearbeitenden Material nicht bekannt, kann dieses Verfahren nicht angewendet werden.

Gefährdungsabschätzung für partikelgebundene Stoffe mit Hilfe von abgesetztem Staub oder Proben aus der Originalsubstanz

Das vorher beschriebene Verfahren bietet unter Berücksichtigung der gleichen Anwendungseinschränkungen eine Möglichkeit zur groben Gefährdungsabschätzung.

Wenn an Hand von Materialproben, die gemäß dem Beispiel für die Staubfraktion abgeschätzte Gefahrstoff-Konzentration des partikelgebundenen Stoffes (hier Blei) um mehrere Größenordnungen geringer ist als dessen AGW, kann von einem nur geringen Einfluss dieses Stoffes auf die Gefährdung des Beschäftigten ausgegangen werden.

Aber die Verteilung partikelgebundener Stoffe z.B. in einer Auffüllung oder geogen in Sedimenten ist nicht gleichmäßig, sondern kann abhängig von Körnung, chemisch-physikalischen Eigenschaften und insbesondere der Auffüllungs- bzw. Sedimentationsgeschichte in verschiedenen Schichten zu unterschiedlichen Konzentrationen angereichert sein. Beim Aushub oder auch beim Abbruch kontaminierten Mauerwerks werden die Materialien zu verschiedenen Kornfraktionen aufgebrochen, in denen die gesuchten Stoffe in unterschiedlichen Konzentrationen vorliegen.

Je weniger also die der Abschätzung zu Grunde liegende Probe der Partikelgrößenverteilung des aus der Originalsubstanz freigesetzten Staubes entspricht, um so unsicherer ist die Abschätzung, d.h. um so größer muss der Unterschied zwischen der abgeschätzten und der Grenzwert-Konzentration sein. In den Fällen, in denen die Hauptmenge des kontaminierten Materials bereits staubförmig vorliegt, z.B. in schwermetallhaltigen Auffüllungen wäre die Siebung der Materialproben und die Analyse aus einer vergleichbaren Korngrößenfraktion eine Möglichkeit zur Optimierung der Abschätzung.

Besondere Hinweise für spezielle Messaufgaben

Einstellung von Mehrfachwarngeräten bei möglichem Auftreten von Faulgasen und Sauerstoffmangel

Bei Arbeiten in Bereichen, bei denen Faulgase in Zusammenhang mit Sauerstoffmangel auftreten könnten, z.B. in Kanälen und Schächten von abwassertechnischen Anlagen oder Deponien für Siedlungsabfälle, Fäkalgruben u.Ä., sind standardmäßig mindestens folgende Gase zu überwachen: Methan (CH₄), Sauerstoff (O₂), Schwefelwasserstoff (H₂S) und Kohlendioxid (CO₂). Sind noch weitere Gase oder Dämpfe vorhanden, sind auch diese in die Messplanung einzubeziehen. Zur standardmäßigen Überwachung wird in der Regel ein Mehrfach-Warngerät eingesetzt.

Es ist jedoch immer noch festzustellen, dass lediglich CH₄, H₂S und O₂ mit (alten) Dreifach-Warngeräten erfasst werden. CO₂ als weiteres, immer auftretendes Gas wird „unterschlagen“, oftmals mit der Begründung, dass die Verdrängung der Luft durch CO₂ am Absinken des Sauerstoff-Gehaltes festgestellt werden könnte. Als Vorgabe für den Mindestsauerstoff-Gehalt wird gemäß BGV C 22 ein Wert von 19 Vol.-% eingestellt.

Hier ergeben sich 2 Fehleinschätzungen: Der Richtwert aus der BGV C 22 gilt nur für den Fall, dass der Sauerstoff durch nicht-toxische Gase verdrängt wird, z.B. durch Stickstoff. Beim Vorhandensein toxischer Gase und Dämpfe ist dieser Richtwert nicht anzuwenden. CO₂ hat aber auch toxische Eigenschaften.

Die 2. Fehleinschätzung entsteht aus der irrtümlichen Annahme, dass der Verringerung des Sauerstoffgehaltes um etwa 2 Vol.-% auch einer Konzentration des Verdrängungsgases von 2 Vol.-% entspricht. Wie verhängnisvoll dieser Irrtum sein kann, wird stellvertretend für alle toxischen, sauerstoffverdrängenden Gase am Beispiel des CO₂ gezeigt. Der natürliche CO₂-Gehalt in der Luft beträgt 0,03 Vol.-%, der Luftgrenzwert (AGW) ist 5000 ppm = 0,5 Vol.-%. Wird nun

CO₂ ausschließlich über die Abnahme der Sauerstoff-Konzentration ermittelt, so wird gleichzeitig die Zunahme des CO₂-Anteils unterbewertet. Beim Abfall der Sauerstoff-Konzentration auf 19 Vol.-% kann die Kohlendioxid-Konzentration bis zu 9 Vol.-% betragen, einer hoch toxischen bis sogar tödlichen Konzentration. Hintergrund hierfür ist, dass die auf unseren Planeten natürlich vorhandene (Atem-)Luft zu mehr als 3/4 aus Stickstoff, aber nur zu 1/5 aus Sauerstoff besteht, d.h., dass sich eine Verdrängung von Luft auch nur zu 1/5 auf den Sauerstoff-Gehalt auswirkt (Abb. 8). Ein Erreichen des AGW für CO₂ würde somit an Hand der O₂-Anzeige überhaupt nicht registriert werden können!

Angesichts des Umstands, dass insbesondere elektrochemische Sensoren zur CO₂-Bestimmung u.A. durch das Faulgas H₂S oder andere leichtflüchtige Schwefelverbindungen „vergiftet“ werden (schnelle Abnahme der Empfindlichkeit, hoher Aufwand zur Funktionskontrolle und Justierung), ist der Einsatz CO₂-Sensoren auf Infrarot-Basis eindeutig zu bevorzugen.

Messung von explosionsgefährlichen Atmosphären

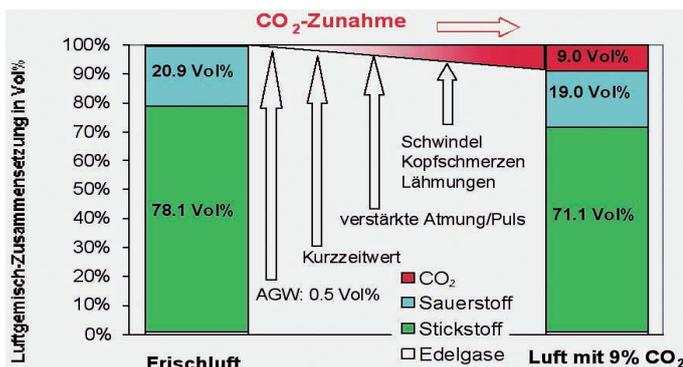
Brennbare Stoffe können explosionsfähige Gemische bilden. Das ist nichts Neues,

wenn an explosionsfähige Atmosphären gedacht wird, wird meist dasjenige Ex-Messgerät genommen, das auch für Arbeiten in Kanälen oder Schächten verwendet wird. Das ist aber nur dann in Ordnung, wenn der Ex-Sensor auf die im Arbeitsbereich vorhandenen brennbaren Gase und Dämpfe eingestellt ist.

Bei Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen wird die Ex-Gefahr von Methan verursacht. Bei Arbeiten in einer kraftstoffkontaminierten Pressgrube sind es neben den BTEX die so genannten Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW). Jeder Stoff, jedes Gemisch hat jedoch seine eigenen Kenndaten für Konzentration, Sauerstoffgehalt und notwendige Energie, auf die das Messgerät vor der Messung eingestellt werden muss.

Wird also z.B. ein auf Methan eingestelltes Ex-Messgerät für die Messung von anderen Stoffen verwendet, so kann die Alarmauslösung (20 % UEG_{Methan} = 0,88 Vol.-%) entweder viel zu früh oder, was verhängnisvoller wäre, viel zu spät erfolgen. Das für Kraftstoffe oft herangezogene Referenzgas n-Hexan hat dagegen eine UEG von 1,7 Vol.-%, d.h. 20 % UEG betragen nur 0,34 Vol.-%. Erschwerend kommt hinzu, dass die Empfindlichkeit der Messgeräte gegenüber den Substanzen unterschiedlich sind, so dass nicht einfach nur ein Faktor,

Abb. 8: Auswirkung der Zunahme der CO₂-Konzentration in der Luft auf die Sauerstoffmessung und die toxische Wirkung von CO₂: CO₂ wirkt toxisch bevor die Sauerstoffmessung deutlich reagiert



Anzeige bi-anz.

Bereich	Fragestellung	ja	nein
Planung	Ist das Stoff-Spektrum in der Luft im Arbeitsbereich bekannt? (Luftanalyse liegt vor?) Sind die festgestellten Stoffe mit dem vorgesehenen Messverfahren detektierbar? Ist das Messverfahren ausreichend empfindlich? (Nachweisgrenze) Probenahmesysteme: Ist der Zeitraum zwischen Probenahme, Analyse und Bewertung für das gewählte Messziel ausreichend kurz? Direktanzeigende Messgeräte: Direkte Messung der Stoffe bzw. von Leitparametern möglich? Wurde ein Alarmwert anhand der Luftanalyse bzw. Abschätzungen und den gültigen Grenzwerten festgelegt? Sind die Bedingungen (Stoff-Spektrum, Ort) nach der Alarmwert-Festlegung gleich geblieben? Sind keine Änderungen der Bedingungen während des geplanten Einsatzes zu erwarten?		
Funktionsprüfung direkt anzeigender Messgeräte	Sind Gehäuse und Filter frei von Staub? Zeigt das Gerät nach dem Einschalten „0 ppm“ (toxische Gase), 0 % UEG (EX), 20,9 Vol % (O ₂) an? Stimmen Prüfgas-Konzentration und Anzeige des Messgerätes überein? Fällt im Anschluss an die Prüfgasaufgabe die Anzeige in sauberer Luft wieder rasch auf die Ursprungswerte?		
Justierung/ Kalibrierung	Wurde die Nullpunkt-Einstellung in sauberer Luft ausgeführt (nicht auf Baustelle)? Stimmen Prüfgas-Konzentration und Konzentration der Alarm-Werte in etwa überein? Bei größeren Abweichungen: Ist keine Wartung durch den Hersteller nötig?		
Messung	Arbeitsplatzmessung repräsentativ? (z.B. in Atemhöhe der Beschäftigten) Messgerät an der richtigen Person, am richtigen Ort/Gerät Messung während der Arbeiten? – Nicht in der Pause! Witterung: Entsprechen die Bedingungen denen der Alarmwert-Festlegung?		
Nach der Messung	Wurde das Messgerät nach der Messung in „sauberer“ Luft noch 10-20 Minuten laufen gelassen? Zeigt die Anzeige in sauberer Luft wieder: „0 ppm“ (toxische Gase), 0 % UEG (EX), 20,9 Vol % (O ₂) an?		

Tabelle 3: Mit Hilfe der Checkliste ist vor Ort eine Schnell-Überprüfung möglich, an Hand derer ein Großteil möglicher Fehler vermieden werden können, bei korrektem Einsatz der Messgeräte zur Gefahrstoff-Überwachung auf Baustellen müssen alle Fragestellungen mit „ja“ beantwortet sein

sondern eine Reihe von Einstellungen am Gerät geändert werden müssen. Hier ist in der Regel der Gerätehersteller zu kontaktieren, um geeignete Referenzstoffe zu bestimmen, die notwendigen Geräteparameter zu erhalten (bei neuen Geräten), bzw. um das Gerät vom Hersteller werksseitig umstellen zu lassen. In allen Fällen ist beim späteren Einsatz für die notwendigen Funktionsprüfungen (s. Kap. „Einsatztägliche Funktionsprüfung und Wartung“) das entsprechende Prüfgas zu verwenden.

Zusammenfassung

Die praktische Durchführung von Messungen auf Baustellen gestaltet sich angesichts immer kleinerer, leicht zu bedienender Messgeräte immer einfacher.

Kann jeder messen? Sicher nicht, denn die Durchführung der Messung stellt nur einen Teil des Komplexes „Messung“ dar. Es wurde in diesem Beitrag ausgeführt, dass der eigentlichen Messung eine Vielzahl von Vorbereitungen, Überlegungen hinsichtlich etwaiger Einschränkungen und Berechnungen vorangestellt werden müssen. Eine Zusammenstellung der nötigen Arbeitsschritte

ist in einer Checkliste (Tab. 3) dargestellt. Je genauer die Rahmenbedingungen erfasst werden, desto valider sind die Messergebnisse und umso sicherer die Interpretation der Messung im Hinblick auf eine Bewahrung der Beschäftigten vor gefahrstoffbedingten Unfällen und Gesundheitsschäden.

Neben der Erkenntnis, dass „richtiges Messen“ u.U. auch aufwändig und damit teuer sein kann, sollte es auch klar geworden sein: Die wichtigsten Voraussetzungen, das o.g. Ziel mittels Überwachungsmessungen zu erreichen, sind die Gefährdungsbeurteilung [2], eine darauf aufbauende stimmige Messplanung und ganz besonders das Vorhandensein des notwendigen Sachverständigen bei der Planung, Durchführung und Bewertung der Messungen. Ist dieser Sachverständige in einer dieser Ebenen nicht vorhanden, dann sollte entweder eine geeignete externe Messstelle beauftragt oder von vornherein auf präventive Maßnahmen zurückgegriffen werden.

Literatur

[1] Feige-Munzig, A.; Emmel, Ch.: Messplanung zur Überwachung von Gefahrstoffen

- in der Luft bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen, Teil 1, TIEFBAU 2/2005, S. 78–83
- [2] Feige-Munzig, A.: Gefährdungsbeurteilung bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen, TIEFBAU 2/2005, S. 71–77
- [3]* TRGS 402 „Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“
- [4]* TRGS 403 „Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz“
- [5]* TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz „Luftgrenzwerte““
- [6] DIN EN 481 „Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“

* Angesichts des Inkrafttretens der neuen Gefahrstoff-Verordnung zum 1.1.2005 hat der neu zu berufende Ausschuss für Gefahrstoffe die Aufgabe festzustellen, welche der bisherigen TRGS, ggf. nach redaktioneller Anpassung, auch nach der neuen Verordnung weitergelten können und welche einer inhaltlichen Überarbeitung bedürfen. Die bisherigen technischen Regeln können jedoch auch künftig als Auslegungs- und Anwendungshilfe für die neue Verordnung herangezogen werden.

Autoren:
Dr. rer. nat. Christoph Emmel,
Fachreferat und Messstelle „Gefahrstoffe“
Dipl.-Geol. Andreas Feige-Munzig,
Fachreferat „Altlastensanierung“
im Technischen Aufsichtsdienst der TBG