

Direktanzeigende Messgeräte: Anspruch und Wirklichkeit – ein Diskussionspapier

C. Emmel, C. Monsé, K. Vossen

ZUSAMMENFASSUNG Seit vielen Jahren erfreuen sich direktanzeigende Messgeräte wachsender Beliebtheit. Dies liegt an einer vordergründig einfachen Bedienung und der fortwährenden Miniaturisierung vieler Geräte, die es erlaubt, sie ohne Bewegungseinschränkung an der Person zu tragen. Kontinuierliche Aufzeichnungen ermöglichen die Beurteilung zeitlicher Konzentrationsverläufe und Expositionsspitzen – sei es als Warngerät, um rechtzeitig schädliche Gefahrstoffkonzentrationen anzuzeigen, oder als Messgerät zur Ermittlung und Dokumentation der Exposition. Gerade in den letzten Jahren haben direktanzeigende Messgeräte – unter anderem aufgrund der aktuellen Diskussion zu Motorabgasen – weiter an Bedeutung gewonnen. Teilweise werden bereits während der Messung Werte für mehrere Gefahrstoffe geliefert, die auf den ersten Blick akkurat und valide erscheinen. Gleichzeitig ist festzustellen, dass bisher so gut wie keine Verfahren mit direktanzeigenden Messgeräten empfohlen wurden und sie oft als Verfahren in der Erprobung bezeichnet werden. Woran liegt das? Die Hintergründe dieser Einschränkungen und Ansätze zur Problemlösung werden im Folgenden für direktanzeigende Messungen von Gasen und Dämpfen beschrieben.

1 Allgemeine Vorgaben

Die erfolgreiche Anwendung eines Messverfahrens erfordert die vollständige Erfüllung folgender Anforderungen, die im Weiteren einzeln beschrieben werden:

- die Validierung des Messverfahrens durch Fachleute,
- die Qualitätsgesicherte Durchführung der Messung,
- die abgestimmte Auswertung der Daten.

2 Anforderungen an die Validierung von Messverfahren

Gemäß der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 sollen an Arbeitsplätzen bevorzugt empfohlene Messverfahren eingesetzt werden [1]. In Deutschland prüfen und veröffentlichen diese Messverfahren im Wesentlichen zwei Arbeitskreise: Für nicht krebserzeugende Stoffe die Arbeitsgruppe Luftanalysen der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, für krebserzeugende, keimzellmutagene oder reproduktionstoxische Stoffe (KMR-

Direct-reading measuring instruments: claim and reality – a discussion paper

ABSTRACT For many years now, direct-reading measuring instruments have enjoyed growing popularity. This is due to the superficially simple operation and the continuous miniaturization of many devices, which allows them to be worn on the person without any problems. Continuous recording enables the assessment of temporal concentration courses and exposure peaks – either as a warning device to give timely warning of harmful concentrations of hazardous substances or as a measuring device to determine and document exposure to hazardous substances. Especially in recent years, direct-reading measuring devices have become increasingly important, partly due to the current discussion on engine exhaust gases. In some cases, measured values for several hazardous substances are provided directly during the measurement, which at first glance appear accurate and valid. At the same time it must be noted that up to now almost no measuring methods with direct-reading measuring instruments have been recognized as tested recommended methods and they are often referred to as methods in testing. What is the reason for this? The reasons for these limitations and approaches to solutions are described below for measurements of gases and vapours.

Stoffe) die Arbeitsgruppe Analytik im Sachgebiet „Gefahrstoffe“ des Fachbereichs „Rohstoffe und chemische Industrie“ der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Darüber hinaus gelten Messverfahren ebenfalls als empfohlen, wenn das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) sie in der IFA-Arbeitsmappe veröffentlicht. Anfang 2020 hat der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) erstmal eine vom Arbeitskreis „Messtechnische Überwachung“ beim Unterausschuss I (UA I) erarbeitete vollständige Liste über alle Stoffe mit einem Beurteilungsmaßstab zusammengestellt und auf der Homepage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) veröffentlicht [2].

Alle Arbeitsgruppen beziehen sich auf die Anforderungen an Messverfahren nach der Norm DIN EN 482, nach der eine Vielzahl von Parametern hinsichtlich der Empfindlichkeit, Stabilität, Selektivität, Messunsicherheit und notwendiger Rahmenbedingungen geprüft werden müssen [3]. Diese Anforderungen sind im Wesentlichen auf eine Probenahme mittels sammelndem Verfahren und eine anschließende Analytik abgestimmt.



Bild 1. Eine Übersicht direktanzeigender Messgeräte. *Quelle: Autoren*

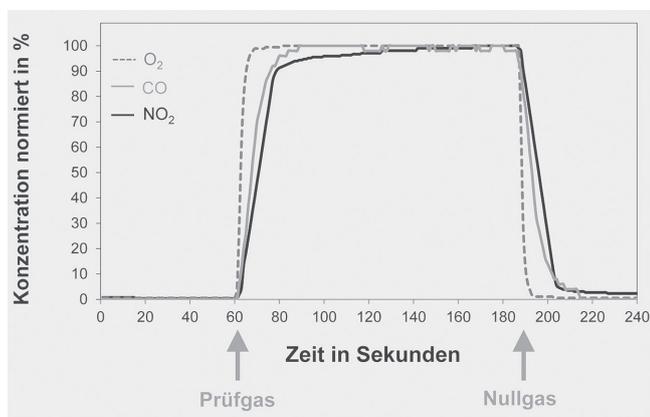


Bild 2. Zeitlicher Verlauf der vom Messgerät angezeigten Konzentrationen bei Aufgabe von Prüfgas – C(O₂) = 18 Vol.-%, C(CO): 50 ppm, C(NO₂): 5 ppm – und Nullluft. Für die gemeinsame Darstellung wurden die Prüfgaskonzentrationen auf 100%-Anzeige normiert. *Quelle: Autoren*

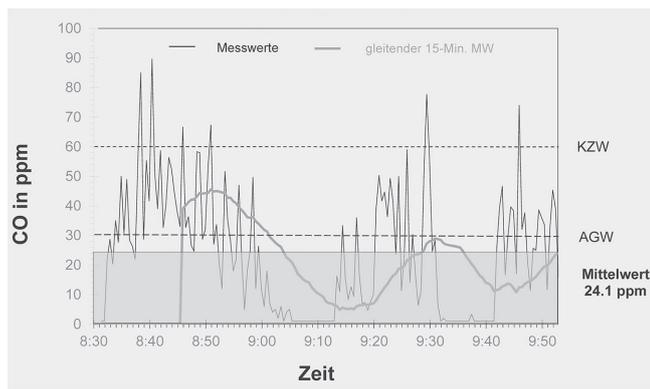


Bild 3. CO-Konzentrationen und gleitender 15-Minuten-Mittelwert bei einer Bodenverdichtung mit benzinbetriebem Vibrationsstampfer. Bei einem Probenahme-Analyse-Verfahren würde dagegen lediglich der Mittelwert über die gesamte Probenahmedauer (grauer Kasten) ermittelt. *Quelle: Autoren*

Lange Zeit dienen direktanzeigende Messverfahren im Bereich Arbeitsschutz vor allem als Warneinrichtungen für das Auslösen von Schutzmaßnahmen und als Ergänzung zu klassischen Probenahme-Analyse-Verfahren. Denn hier wird nach Durchführung der Probenahme im Labor nur eine (über den Probenahmezeitraum gemittelte) Konzentration bestimmt. Direktanzeigende Messgeräte liefern dagegen einen Einblick in den zeitlichen Ver-

lauf der Konzentrationen. Obwohl ein Messverfahren auch für orientierende Messungen der zeitlichen Konzentrationsänderung eine bekannte Genauigkeit und Empfindlichkeit aufweisen muss, stellte sich die Frage nach einer zeit- und kostenaufwendigen Prüfung und Validierung für empfohlene Messverfahren nur selten.

Die hier betrachteten höherwertigen Mess- und Warngeräte werden von den Herstellern entsprechend der Anforderungsprofile, z. B. der Normen DIN EN 44544 [4 bis 6], geprüft und kontrolliert (Beispiele: **Bild 1**). Sie sind daher nicht zu verwechseln mit den günstigen Geräten für den Privatanwender, die als Fertigerät oder Bausatz vertrieben werden und die elementarsten Schritte für eine Qualitätssicherung vermissen lassen. Eine Anwendung für orientierende Messungen ist hier meist ausgeschlossen.

Erwartungsgemäß sind für Vergleichsmessungen mit Grenzwerten und Kontrollmessungen [5] die Leistungsanforderungen am höchsten. Gefordert werden eine notwendige Selektivität, Eindeutigkeit, Empfindlichkeit und Präzision in einem definierten Messbereich nach DIN EN 482. Diese Anforderungen gelten unabhängig davon, ob es sich beispielsweise um ein Probenahme-Analyse-Verfahren oder ein direktanzeigendes Messverfahren handelt.

Zu Evaluierung wird das Messverfahren aufwendig mit verschiedenen Methoden auf eine Vielzahl von Parametern geprüft, die in einem abgesicherten Messbereich und in einer erweiterten Messunsicherheitsbetrachtung zusammengeführt werden.

Bedingt durch die Unterschiede der Messverfahren sind verschiedene Faktoren besonders zu berücksichtigen: Bei einem Probenahme-Analyse-Verfahren ist die Luftmenge, die über den Probenahmezeitraum konstant durch den Probenträger gesaugt wird, möglichst exakt zu bestimmen. In gleicher Weise ist zu gewährleisten, dass alle Verfahrensschritte von der Lagerung der Probenträger über die Extraktion vom Probenträger bis hin zur eigentlichen Analytik stabil, reproduzierbar und mit einer definiert hohen Wiederfindung verlaufen. In der Evaluierung werden diese Schritte aufwendig geprüft. Dabei spielt Zeit für die Dauer der Analyse keine Rolle, da diese unabhängig von der eigentlichen Probenahme ist [7].

Bei einem direktanzeigenden Messgerät sind dagegen andere Kriterien maßgebend. Hier spielt z. B. das Ansprechverhalten der Sensoren auf Konzentrationsänderungen eine entscheidende Rolle. Eine Zunahme der Konzentration muss mit der gleichen Empfindlichkeit und Geschwindigkeit abgebildet werden wie das Absinken der Konzentration. In **Bild 2** sind beispielhaft die Ansprechverhalten von drei Sensoren auf Konzentrationsänderungen aufgetragen. Diese notwendige Gleichheit muss dabei – unabhängig von den Beurteilungsmaßstäben – über den gesamten Messbereich gelten, da eine quantitative Bestimmung sonst nicht möglich ist. Auch Konzentrationsspitzen, die weit oberhalb des Mittelwertes über den Messzeitraum liegen können, müssen akkurat abgebildet werden.

In **Bild 3** wurde die Exposition gegenüber Kohlenstoffmonoxid (CO) beim Bodenverdichten mit einem Stampfer ermittelt. Hier sind die charakteristischen schnellen Wechsel der Konzentrationen gut zu erkennen. Dabei liegen die Konzentrationsspitzen beim mehr als Dreifachen des über den Messzeitraum gemittelten Wertes (graue Fläche).

Aber nicht nur das Verhalten bei Konzentrationsspitzen, sondern auch bei länger währenden hohen Konzentrationen be-

schränkt den verwendbaren Messbereich. So führt die Exposition gegenüber hohen Stoffkonzentrationen besonders bei elektrochemischen Sensoren häufig zu Verschleppungseffekten, wie verlangsamtes Absinken der Konzentrationsanzeige, und ggf. zu einem Offset (die Anzeige geht auch in sauberer Luft nicht auf null zurück).

Da direktanzeigende Messgeräte eine gute Stabilität und Präzision unter den wechselnden Klimabedingungen im Betrieb und auf der Baustelle aufweisen müssen, muss dies auch in der Evaluation abgebildet werden.

Bei direktanzeigenden Messgeräten ist die Prüfung der Kombination aus Messgerät (d. h. der Auswerteeinheit) und eingesetztem Sensor unter Berücksichtigung der Streuung insbesondere der Sensoren durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind dann aber nicht automatisch auf vergleichbare Sensoren – z. B. anderer Hersteller in anderen Geräten – übertragbar.

Die Ermittlung der für die Prüfung als direktanzeigendes Messgerät notwendigen Daten ist gerade bei kleinen Geräten, die für den Einsatz als Warngeräte konstruiert und gebaut wurden, jedoch auch als Messgeräte herangezogen werden, besonders erschwert. Für Warngeräte gelten andere Anforderungen [6] als an Messgeräte [5], die sich in unterschiedlichen normativen Grundlagen und Definitionen widerspiegeln. Dies hat zur Folge, dass die beispielsweise von den Herstellern ermittelten Parameter und deren Definitionen nicht ohne weiteres für eine Prüfung als Messgerät herangezogen werden können.

3 Anforderungen an die qualitätsgesicherte Durchführung der Messung

Beim Einsatz eines Messverfahrens ergeben sich während der Durchführung hohe Anforderungen an die Qualitätssicherung. Hier ist ein Vergleich von direktanzeigenden Messgeräten und einem klassischen Probenahme-Analyse-Verfahren sehr aufschlussreich:

Bei den klassischen Verfahren erfolgt vor und nach der Probenahme eine Kontrolle der Flussraten der Probenahmesysteme. Der weitaus größere Aufwand wird jedoch im Labor betrieben. Hier ist die Konstanz der Analysengeräte und Stabilität der Extraktionen mittels regelmäßiger Überprüfungen der Kalibrierungen und Prüfungen durch Anwendung von Regelkarten oder ähnliches zu gewährleisten und dokumentieren. Darüber hinaus erfolgen Kontrollen des kompletten Messverfahrens im Rahmen von Ringversuchen.

Demgegenüber stellen direktanzeigende Messgeräte und Warngeräte quasi eine Blackbox dar. Die Erfassung des Stoffs – also die Bewertung und die Umwandlung des Signals in eine Konzentrationsanzeige – erfolgt im Gerät, ohne dass die einzelnen Schritte direkt überprüft werden können.

Sind die Qualitätssicherung und der damit verbundene Aufwand bei Probenahme-Analyse-Verfahren selbstverständlich, so braucht es gerade wegen der vordergründig einfachen Bedienung direktanzeigender Messgeräte immer wieder Überzeugungsarbeit, auch hier notwendige qualitätssichernde Maßnahmen umzusetzen. Zwar kann das direktanzeigende Messgerät im Labor mithilfe verschiedener Prüfgase kalibriert werden, jedoch stellt bereits der Transport des Geräts an den Messort eine erhebliche Schwierigkeit dar: Während des Transports und der Messung selbst sind die Geräte Erschütterungen und wechselnden Klimabedingungen ausgesetzt, die mit einer Veränderung der Geräteempfindlichkeit

und damit einem anderen Ansprechverhalten gegenüber den zu messenden Stoffen einhergehen können. Zudem sind bei den meisten Geräten die Sensoren funktionsbedingt nicht geschlossen, sondern offen. So können während des Transports zum und vom Messort auftretende Stoffe auf die Sensoren einwirken und gegebenenfalls zu einer Veränderung der Eigenschaften der Sensoren führen. Die Notwendigkeit des Transports in geeigneten Behältnissen, die äußere Einflüsse minimieren oder gar ausschließen, wird leider häufig unterschätzt. Dies bedeutet, dass der Vor- und Nachbereitung der Messgeräte ein sehr hoher Stellenwert gegeben werden muss, woraus auch ein größerer Zeit- und Kontrollaufwand resultiert.

Das betrifft sowohl das Einlaufen (die Akklimatisierung, bis stabile Messwerte erreicht werden) und Reinigen der Sensoren vor und nach der Messung unter sauberer Atmosphäre, beispielsweise mit Nullgas oder gereinigter Luft, als auch eine Funktionskontrolle mittels Prüfgasaufgabe vor und nach der Messung.

Der Einsatz von Prüfgasen vor Ort zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Geräte [8 bis 10] ist sehr wünschenswert, aber nicht immer praktikabel. So gibt es zwar für eine Reihe von Stoffen entsprechend geeignete Prüfgase, die auch ohne größeren Aufwand zum Messort mitgeführt werden können. Leider sind aber nicht für alle messbaren Stoffe Prüfgase zur mobilen Kontrolle und Kalibrierung verfügbar oder nur in Konzentrationen, die gegebenenfalls weit oberhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder des Messbereichs der Geräte liegen. Zudem ist die Lagerstabilität der Prüfgase begrenzt. Bereits vor Ablauf des Haltbarkeitsdatums wurde wiederholt eine Veränderung der Konzentrationen von Prüfgasen beobachtet. Dabei haben sich Prüfgase einzelner Stoffe, wie z. B. von Stickstoffdioxid (NO_2), als besonders problematisch erwiesen.

Auch der Überprüfung der Gegebenheiten am Messort muss eine höhere Priorität eingeräumt werden. Nicht selten haben die direktanzeigenden Messmethoden nur eine eingeschränkte Selektivität: Es können Querempfindlichkeiten, also nennenswerte Reaktionen des Messgeräts auf zusätzliche Stoffe auftreten. Neben positiven Querempfindlichkeiten (Anzeige zu hoher Werte) kann es ebenso zu negativen Querempfindlichkeiten (Anzeige zu niedriger Werte) durch Störkomponenten oder Störeinflüsse wie Temperatur, Luftfeuchte oder Umgebungsdruck kommen. Darüber hinaus können Aerosole, z. B. Stäube, Nebel oder Rauche, zu einer Messwertverfälschung führen. Um valide Messergebnisse zu erhalten, sind deshalb genaue Informationen über mögliche Gefahrstoffe, den zu erwartenden Konzentrationsbereich und Störkomponenten wichtig, die mit den Herstellerinformationen zu den Sensoren abgeglichen und beachtet werden müssen.

Insgesamt führt dies dazu, dass auch bei Ausschöpfen aller aktuell verfügbaren Möglichkeiten der Qualitätssicherung ggf. nicht alle Anforderungen an ein Messverfahren beim Einsatz eines direktanzeigenden Messgeräts erfüllt werden können.

4 Anforderungen an die abgestimmte Auswertung der Daten

Auch beim dritten Teil der Messung, der Auswertung, müssen verschiedene Parameter und Konventionen berücksichtigt werden. Üblicherweise wird bei der Festlegung des Messbereichs eines Messverfahrens die ermittelte Bestimmungsgrenze als untere Grenze verwendet. Hier bedarf es auch bei direktanzeigenden Messgeräten einheitlicher Vorgehensweisen, sowohl bei der Er-

mittlung als auch beim Umgang mit sogenannten „Kleiner-als-Werten“, den Werten unterhalb des Messbereichs oder auch „Deadbands“ [4] in den Auswertungen. Denn oftmals werden diese als Nullwerte ausgewiesen und fließen als solche auch in die Berechnungen mit ein. Diese Art der Berechnung führt zu einem potenziell niedrigeren Wert. Dabei wird die Abweichung der berechneten Konzentrationen von den vorliegenden Konzentrationen umso ausgeprägter, je weniger empfindlich ein Messverfahren im Vergleich zur Höhe des Grenzwerts ist.

Weiterhin ist auch eine Überschreitung des Messbereichs zu überprüfen. So kann es sein, dass die Anzeige höherer Konzentrationen „abgeschnitten“ werden oder mit dem Überschreiten des Messbereichs ein „Überlaufen“ des Sensors zu einer Verschleppung und zu falsch hohen Konzentrationsangaben führt. Insbesondere bei Geräten, die den Einsatz verschiedener Sensoren erlauben, ist eine weitere Überprüfung und Berechnung erforderlich: Jeder Sensor benötigt eine spezifische Zeit, bis er die Konzentration abbilden kann. Diese Ansprechgeschwindigkeit wird üblicherweise durch die Anstiegszeit t_{90} beschrieben – die Zeitspanne zwischen einem Konzentrationsanstieg und dem Zeitpunkt, bis die Änderung zu 90% des wahren Wertes am Messgerät angezeigt wird. Je nach Grundgerät können Anzeigintervalle vorgegeben sein, die nicht auf die Trägheit des Sensors angepasst sind. So wird ein Messgerät nicht dadurch schneller und besser, dass anstelle der notwendigen Mittelungsdauer von z.B. 30 s für den Sensor eine Anzeigegeschwindigkeit von 1 s eingestellt wird. Dies bedeutet dann aber, dass für die Auswertung der Daten gegebenenfalls eine Umrechnung und Mittelung der Anzeigewerte erfolgen muss.

Ein wesentlicher Punkt der Auswertung ist die Überprüfung verschiedener Kriterien der Beurteilungsmaßstäbe wie schichtbezogener Mittelwert, Kurzzeitwert und Momentanwert gemäß den Anforderungen der TRGS 900 [11] und der TRGS 402. Gestaltet sich die Überprüfung des schichtbezogenen Mittelwerts noch vergleichsweise einfach, erfordert die Überprüfung der Kurzzeitwertbedingung bereits deutlich mehr Aufwand. Denn hierzu müssen gleitende Mittelwerte für verschiedene Zeitintervalle berechnet werden. Für die Kurzzeitwertbetrachtung werden in einem ersten Schritt 15-Minuten-Mittelwerte gebildet. Werden Kurzzeitwertkonzentration überschritten oder die Konzentration des Beurteilungswerts unterschritten, sind die Bewertungen einfach durchzuführen. Liegen die Konzentrationen jedoch zwischen der des Kurzzeitwerts und dem AGW, so greifen die Maßnahmen des Kurzzeitwertkonzepts, die eine weiterführende Überprüfung der Konzentrationsüberschreitungen des Beurteilungsmaßstabs, von deren Häufigkeit und deren zeitlichem Abstand erfordern. Neben dem 15-Minuten-Mittelwert zur ersten Überprüfung des Kurzzeitwerts sind nach TRGS 900 für Stoffe der Kategorie (II) ggf. auch Berechnungen von weiteren, längeren Mittelungsdauern erforderlich.

Abschließend ist bei lokal reizenden Stoffen mit der Ausweitung von Spitzenbegrenzungen durch das Zeichen „=“ auch eine Bestimmung der Momentanwerte erforderlich. Diese haben nach TRGS 402 eine Mindestmittelungsdauer von 60 s und sind ebenfalls aus den Anzeigedaten zu berechnen.

Die Auswertungssoftware der Hersteller ist üblicherweise nicht auf die Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter ausgelegt, sondern z.B. für die Anwendung der Geräte als Warngeräte. Somit ist sie für eine Auswertung und Bewertung von Messungen zum Vergleich mit Grenzwerten, Beurteilungsmaßstä-

ben und Kontrollmessungen nicht geeignet. Daher müssen die erforderlichen Berechnungen diejenigen vornehmen, die die Messungen durchgeführt haben.

5 Aktuelle Maßnahmen

Aufgrund des zunehmenden Bedarfs, direktanzeigende Messgeräte auch für anerkannte Messungen einzusetzen, haben sich in den letzten Jahren verschiedene Arbeitskreise mit der Thematik und den in diesem Artikel aufgeführten Fragestellungen beschäftigt, um entsprechende Lösungsansätze zu entwickeln. Diese beschränken sich nicht auf die Erfordernisse im Zusammenhang mit der Geräteprüfung, sondern betrachten auch die Anforderungen an die Durchführung der Messungen und deren Qualitätssicherung sowie die Datenauswertung. Die Ergebnisse der Arbeitskreise werden in verschiedenen Medien wie der IFA-Arbeitsmappe veröffentlicht. Ein aktuelles Beispiel ist diesem Heft aufgeführt: Im Februar 2019 erfolgten am Institut für Prävention und Arbeitsmedizin (IPA) umfangreiche Vergleichsmessungen zur Bestimmung von NO- und NO₂-Konzentrationen. Neben Chemolumineszenzgeräten wurden auch verschiedene Warngeräte mit elektrochemischen Sensoren eingesetzt. Insgesamt wurden 40 Mess- und Warngeräte untersucht. Die Auswertung der Ergebnisse gibt einen ersten Eindruck über die Vergleichbarkeit der Geräte und Sensoren untereinander [12].

6 Zusammenfassung und Ausblick

Angesichts der zuvor beschriebenen Anforderungen an Messverfahren im Allgemeinen und an direktanzeigende Messgeräte im Besonderen verwundert es nicht, dass bisher nur sehr wenige Messgeräte entsprechend geprüft wurden. Daran wird zurzeit gearbeitet und es ist absehbar, dass weitere direktanzeigende Messgeräte erfolgreich geprüft werden.

Die Hürden für die Qualitätssicherung und Auswertung werden dann aber weiterhin erheblich höher sein, als es die einfache Bedienung der Geräte erwarten lässt. Denn erst bei deren Anwendung vor, während und nach der Messung sind die Anforderungen an eine Arbeitsplatzmessung erfüllt. Zu den klassischen Messverfahren gibt es jedoch einen entscheidenden Unterschied: Dort erfolgt die Qualitätssicherung von Ergebnissen im Wesentlichen im Labor. Dies dreht sich bei direktanzeigenden Messgeräten um, da hier die Hauptlast auf den Personen liegt, die die Messungen durchführen. Sie benötigen dazu nicht nur die notwendige Ausstattung, sondern müssen auch die Hürden der Auswertung und Kurzzeitwertbetrachtung nehmen. Dies erfordert Zeit, erweiterte Schulung und mehr Investitionen. Nur so wird eine gut abgesicherte Bewertung erreicht.

Bisher wurden allerdings viele Messungen mit direktanzeigenden Mess- und Warngeräten durchgeführt, die diesen Ansprüchen nur zum Teil gerecht werden. Hier sollte man sich vergegenwärtigen, dass bereits in der Vergangenheit Anstrengungen zur Qualitätssicherung, z.B. durch wiederkehrende Kontrollen im Labor, erfolgten, die zwar nicht die Anforderungen eines Standardmessverfahrens erreichen, die ermittelten Ergebnisse aber trotzdem für viele Aussagen weiterhin herangezogen werden können. Denn die Frage nach einer erhöhten Messunsicherheit ist für viele Messungen und deren Auswertungen eher zweitrangig. Jedoch sollte man offen damit umgehen, dass die bisher so erhobenen Daten – trotz der durch die Digitalanzeige der Geräte suggerierten Ge-

nauigkeit – (noch) nicht den Status einer Arbeitsplatzmessung haben. Sie liefern aber viele hilfreiche Informationen über den zeitlichen Verlauf der Exposition, die mit anderen Verfahren nicht gewonnen werden können. Da lässt sich der größere Messfehler oftmals verschmerzen.

Literatur

- [1] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). BArbBl. (2010) Nr. 12, S. 231-253, zul. geänd. GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [2] AGS-Liste geeigneter Messverfahren. Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dortmund, 2019. www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaefsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/Messverfahren.html
- [3] DIN EN 482: Exposition am Arbeitsplatz – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe (12/2015). Berlin: Beuth 2015.
- [4] DIN EN 45544-1: Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (10/2015). Berlin: Beuth 2015.
- [5] DIN EN 45544-2: Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 2: Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten, die für Expositionsmessungen eingesetzt werden (10/2015). Berlin: Beuth 2015.
- [6] DIN EN 45544-3: Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 3: Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten, die für allgemeine Gaswarnanwendungen eingesetzt werden (10/2015). Berlin: Beuth 2015.
- [7] DIN EN 1076: Exposition am Arbeitsplatz – Messung von Gasen und Dämpfen mit pumpenbetriebenen Probenahmeeinrichtungen – Anforderungen und Prüfverfahren (4/2010). Berlin: Beuth 2010.
- [8] DGUV Information: Gaswarneinrichtungen für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff – Einsatz und Betrieb (213-056). Hrsg. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2016.
- [9] DGUV Information: Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz – Einsatz und Betrieb (213-057). Hrsg. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2016.
- [10] Gaswarneinrichtungen und -geräte für den Explosionsschutz – Antworten auf häufig gestellte Fragen (Merkblatt T 055). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Heidelberg 2016. www.bgrci.de/exinfo/ex-schutz-wissen/antworten-auf-haeufig-ge-stellte-fragen/mess-und-warngeraete
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55, zul. geänd. GMBI. (2020) Nr. 12-13, S. 276.
- [12] *Monsé, C.; Vossen, K.; Martiny, A.; Kirchner, M.; Dragan, G.; Jettkant, B.* et al.: Stickoxid-Vergleichsmessungen im IPA-Expositions-labor. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 80 (2020) Nr.10, S. 377.



Dr. rer. nat. Christoph Emmel,
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU),
München.

Dr. rer. nat. Christian Monsé,
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA), Bochum.

Dipl.-Ing. Katja Vossen,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), St. Augustin.