

Ausgabe August 2023

GMBI 2023, S. 898-920 [Nr.42] (v.11.9.2023)

Technische Regeln für Gefahrstoffe	Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition	TRGS 402
---------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder.

Sie werden vom

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben.

Diese TRGS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Gefahrstoffverordnung. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt:

- 1 Anwendungsbereich
 - 2 Begriffsbestimmungen
 - 3 Fachkunde
 - 4 Vorgehensweise zur Ermittlung der inhalativen Exposition
 - 5 Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen
 - 6 Befundsicherung
 - 7 Dokumentation
- Anhang 1: Anforderungen an Messstellen, die messtechnische Ermittlungen und Beurteilungen der Exposition durchführen, einschließlich Anforderungen an die Berichterstattung
- Anhang 2: Messtechnische Ermittlung
- Anhang 3: Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden der Exposition
- Anhang 4: Befundsicherung mit Hilfe kontinuierlich messender Messeinrichtungen
- Anhang 5: Arbeitsplatzbeispiele und weitere Hinweise zur Anwendung der TRGS 402
- Literaturhinweise

Inhalt

1	Anwendungsbereich	4
2	Begriffsbestimmungen	4
3	Fachkunde	6
4	Vorgehensweise zur Ermittlung der inhalativen Exposition	6
4.1	Allgemeines	6
4.2	Erfassung und Beschreibung der Tätigkeiten und Festlegung des Arbeitsbereichs	8
4.3	Erfassung der Gefahrstoffe	10
4.4	Methoden zur Ermittlung der inhalativen Exposition	10
5	Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen	11
5.1	Beurteilungsmaßstäbe der inhalativen Exposition	11
5.2	Beurteilungszeiträume	12
5.2.1	Schichtmittelwerte	12
5.2.2	Kurzzeitwerte	12
5.2.3	Momentanwerte	13
5.3	Bewertung der inhalativen Exposition	13
5.3.1	Bewertung von Einzelstoffen	13
5.3.2	Bewertung von mehreren Stoffen oder Stoffgemischen	14
5.3.3	Voraussetzungen für die Erhebung des Befundes	14
5.3.4	Erhebung des Befundes	16
6	Befundsicherung	18
7	Dokumentation	19
Anhang 1: Anforderungen an Messstellen, die messtechnische Ermittlungen und Beurteilungen der Exposition durchführen, einschließlich Anforderungen an die Berichterstattung		20
A1.1	Allgemeines	20
A1.2	Anforderungen an das Personal	20
A1.2.1	Personelle Ausstattung und Fachkunde	20
A1.2.2	Leitung einer Messstelle	21
A1.2.3	Mitarbeiter einer Messstelle	21
A1.3	Anforderungen an die technische Ausstattung	21
A1.4	Anforderungen an die Organisation	22
A1.4.1	Organisation	22
A1.4.2	Organisatorische Anforderungen für die Zusammenarbeit mit dem analytischen Labor	22
A1.5	Zusätzliche Anforderungen bei Messungen unter Tage	22
A1.5.1	Allgemeines	22
A1.5.2	Personelle Anforderungen	23
A1.5.3	Gerätetechnische Ausstattung	23
A1.6	Anforderungen an die Berichterstattung bei messtechnischen Ermittlungen	23
A1.6.1	Allgemeine Anforderungen an die Berichterstattung	23
A1.6.2	Inhalt des Berichtes	23

A1.6.3	Informationen zu den messtechnisch ermittelten Gefahrstoffen	24
A1.6.4	Messtechnische Ermittlung	25
A1.6.5	Befund und Befundsicherung	25
A1.7	Probenahme-, Mess- und Analysenverfahren	26
Anhang 2: Messtechnische Ermittlung		29
A2.1	Allgemeine Anforderungen	29
A2.2	Messaufgaben	29
A2.2.1	Arbeitsplatzmessungen	29
A2.2.2	Kontrollmessungen zur Befundsicherung	29
A2.2.3	Messungen für den ungünstigen Fall (reasonable worst case)	30
A2.2.4	Messungen in der Nähe einer Emissionsquelle	31
A2.2.5	Sondermessungen	31
A2.2.6	Dauerüberwachung	31
A2.2.7	Übersichtsmessungen (orientierende Messungen)	31
A2.3	Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen	32
A2.3.1	Anforderungen an Messverfahren	32
A2.3.2	Anforderungen an die Messung von Kurzzeitwerten	34
A2.4	Anforderungen an die Durchführung einer Messung	34
A2.4.1	Planung einer Messung	34
A2.4.2	Vorbereitung und Durchführung einer Messung	35
A2.4.3	Messort, Messzeit und Mittelungsdauer	35
Anhang 3: Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden der Exposition		37
A3.1	Einleitung	37
A3.2	Allgemeine Anforderungen an nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden und deren Anwendung	38
A3.3	Personelle Anforderungen	39
A3.4	Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter oder gleichwertige Dokumente und Berichte	39
A3.5	Control-Banding-Ansätze und Expositionsmodelle	39
A3.6	Rechenmodelle	40
A3.7	Befund und Berichterstattung bei Anwendung nichtmesstechnischer Methoden	41
Anhang 4: Befundsicherung mit Hilfe kontinuierlich messender Messeinrichtungen		43
A4.1	Allgemeines	43
A4.2	Anforderungen an die Dauerüberwachung	43
Anhang 5: Arbeitsplatzbeispiele und weitere Hinweise zur Anwendung der TRGS 402		44
Literaturhinweise		45

1 Anwendungsbereich

- (1) Gemäß § 7 der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) hat der Arbeitgeber die Pflicht, Ausmaß, Art und Dauer der inhalativen Exposition zu ermitteln und zu beurteilen. Die vorliegende TRGS beschreibt die hierbei zu berücksichtigenden Anforderungen und Vorgehensweisen.
- (2) Diese TRGS gilt für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition. Sie ist anzuwenden, wenn
1. Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter gemäß TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ (Abschnitt 6.1 Absatz 5) eine Überprüfung der Einhaltung von einem verbindlichen Beurteilungsmaßstab vorsehen oder
 2. bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen keine Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter angewendet werden und für die Beurteilung die Ermittlung einer Expositionshöhe erforderlich ist.
- (3) Bei Tätigkeiten mit geringer Gefährdung nach Abschnitt 6.2 der TRGS 400 muss diese TRGS nicht angewendet werden.
- (4) Die beschriebenen Methoden und Verfahren dienen der Feststellung, ob die getroffenen Schutzmaßnahmen hinsichtlich der inhalativen Exposition ausreichen oder ob weitere Maßnahmen nach GefStoffV und Teil 1 des Anhangs der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge zu ergreifen sind.

2 Begriffsbestimmungen

- (1) In dieser TRGS sind die Begriffe so verwendet, wie sie im „Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)“ [1] bestimmt sind.
- (2) Der Arbeitsbereich ist der räumlich oder organisatorisch definierte Bereich, in dem Tätigkeiten mit Gefahrstoffen von einem oder mehreren Beschäftigten ausgeführt werden und der in einer Gefährdungsbeurteilung zusammengefasst werden kann. Er kann einen oder mehrere Arbeitsplätze, Arbeitsverfahren oder Tätigkeiten umfassen. Dazu können auch Arbeitsplätze im Freien gehören. Ein Arbeitsbereich im Freien weist entweder
1. ein Dach oder eine Decke und weniger als zwei Wände auf (auch mit Öffnungen, wie Türen, Tore, Fenster, Dachreiter) oder
 2. kein Dach oder keine Decke auf.
- (3) Die inhalative Exposition ist das Vorhandensein eines Gefahrstoffs in der Luft im Atembereich des Beschäftigten. Gefahrstoffe können in Form von Gasen, Dämpfen, Nebeln, Stäuben, Rauchen, Fasern und Partikel/Dampf-Gemischen in der Luft auftreten. Das Ausmaß der inhalativen Exposition wird durch die Konzentration des Gefahrstoffs in der Luft und den zugehörigen zeitlichen Bezug (Dauer der Exposition) beschrieben.
- (4) Relevante Randbedingungen sind alle Parameter, die die zu beurteilende inhalative Exposition beeinflussen. Sie ergeben sich aus den Informationen zu den Tätigkeiten mit Gefahrstoffen entsprechend Abschnitt 4.2 Absatz 2.
- (5) Eine Arbeitsplatzmessung ist die messtechnische Ermittlung der inhalativen Exposition der Beschäftigten.

- (6) Messstellen ermitteln und beurteilen die inhalative Exposition von gefährlichen Stoffen in der Luft in Arbeitsbereichen. Innerbetriebliche Messstellen werden im Auftrag ihres Arbeitgebers im eigenen Betrieb tätig. Außerbetriebliche Messstellen sind nicht-betriebseigene Messstellen, die im Auftrag von Arbeitgebern tätig werden.
- (7) Eine Leitkomponente eines Stoffgemisches in der Luft ist ein Stoff, der stellvertretend für alle Stoffe oder eine Gruppe von Stoffen erfasst und beurteilt wird. Die Expositionsbeurteilung anhand einer Leitkomponente ist möglich, wenn die Konzentrationsverhältnisse der Komponenten in der Luft untereinander langfristig gleichbleibend sind oder durch diese Leitkomponente die Exposition aussagekräftig beschrieben wird. Die Festlegung der Leitkomponente erfolgt im Rahmen der Ermittlung der inhalativen Exposition.
- (8) Ein Surrogat ist ein Stoff, mit dem die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen geprüft werden kann, ohne den für die durchzuführende Tätigkeit eigentlich einzusetzenden Stoff zu verwenden. Das Surrogat muss weniger gefährlich als der eigentlich einzusetzende Stoff sein. Es muss vergleichbare physikalisch-chemische Eigenschaften aufweisen. Dazu gehört z. B. ein ähnliches Freisetzungsverhalten, also bei Feststoffen ein ähnliches Staubungsverhalten oder bei Flüssigkeiten ein ähnlicher Dampfdruck und Siedepunkt. Für das Surrogat muss ein geeignetes Messverfahren zur Verfügung stehen.
- (9) Ein Tracer ist ein Stoff, mit dem die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen geprüft werden kann. Der Tracer wird dem zu ermittelnden Stoff zugesetzt und an dessen Stelle messtechnisch ermittelt.
- (10) Geeignete Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden als Alternative zu Arbeitsplatzmessungen sind Berechnungen der Gefahrstoffkonzentration (qualifizierte Expositionsabschätzung) oder Messungen, die einen indirekten Schluss auf die Gefahrstoffbelastung ermöglichen, z. B. mit Hilfe von Leitkomponenten, technische und organisatorische Prüfvorgaben, die sich auf die festgelegten Maßnahmen beziehen (siehe TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“), oder Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze (siehe Anhang 3).
- (11) Die Mittelungsdauer ist die Zeitspanne, für die das verwendete Messverfahren einen Messwert liefert. Sie ist durch das Zeitverhalten des Messverfahrens bestimmt und entspricht bei diskontinuierlichen Messverfahren der Probenahmedauer, bei direktanzeigenden Messgeräten einer vom Anwender festzulegenden Zeitspanne.
- (12) In dieser TRGS bezeichnet der ungünstige Fall (reasonable worst case) eine Situation, in der ungünstige, aber nicht auszuschließende Randbedingungen in dem zu beurteilenden Arbeitsbereich eine Obergrenze für die Exposition ergeben. Randbedingungen, die in diesem Sinn Einfluss auf die Exposition haben, sind unter Abschnitt 4.2 genannt.
- (13) Der Messwert ist das rechnerische Ergebnis aus dem Analysenergebnis und den für die Berechnung erforderlichen Probenahmeparametern.
- (14) Das Messergebnis ist die aus einem oder mehreren Messwerten berechnete, zeitlich gewichtete mittlere Konzentration eines Gefahrstoffs in der Luft am Arbeitsplatz bezogen auf einen vorgegebenen Beurteilungszeitraum.
- (15) Das Ermittlungsergebnis ist das Messergebnis einer messtechnischen Ermittlung oder das Ergebnis einer nichtmesstechnischen Ermittlung zur inhalativen Exposition. Es dient dem Vergleich mit Beurteilungsmaßstäben (BM) (zum Begriff Beurteilungsmaßstab siehe Abschnitt 5.1).
- (16) Der Befund ist das Ergebnis der Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen hinsichtlich der Einhaltung der Beurteilungsmaßstäbe für die inhalative Exposition in einem Arbeitsbereich. Durch Befundsicherung wird nach Abschluss der Beurteilung der inhalativen

Exposition in regelmäßigen oder festgelegten Zeitabständen überprüft, ob der abgeleitete Befund unverändert gültig ist und die Schutzmaßnahmen weiterhin wirksam sind. Die Befundssicherung ist damit ein Teil der Wirksamkeitsüberprüfung nach TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“, Abschnitt 11 Absatz 1.

(17) Kontrollmessungen sind Arbeitsplatzmessungen zur Befundssicherung in festgelegten zeitlichen Abständen.

(18) Die Gefährdungszahl ist der Quotient aus Sättigungskonzentration und Beurteilungsmaßstab.

3 Fachkunde

(1) Die für die Ermittlung der inhalativen Belastung notwendigen Kenntnisse gehen über die allgemeinen Anforderungen nach TRGS 400 hinaus und umfassen je nach Beurteilungsmethode und Komplexität der Aufgabenstellung zusätzliche gefahrstoffbezogene und ermittlungsmethodische Kenntnisse (siehe Anhang 1 Abschnitt 2.1). Wenn die Ermittlung der inhalativen Exposition mittels nichtmesstechnischer Ermittlungsmethoden erfolgen soll, müssen die Anforderungen nach Anhang 3 Abschnitt 3 erfüllt werden. Wird die Ermittlung mit messtechnischen Methoden durchgeführt, muss eine entsprechende Fachkunde gegeben sein. Der Arbeitgeber kann fachkundige interne oder externe Stellen oder Personen damit beauftragen.

(2) Dem Arbeitgeber wird empfohlen, Stellen oder Personen zu beauftragen, die auch eine Beratung zur sicheren Durchführung von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchführen.

(3) Wenn die Ermittlung der inhalativen Exposition mittels messtechnischer Ermittlungsmethoden erfolgt, muss die Messstelle die in Anhang 1 gestellten Anforderungen erfüllen. Beauftragt der Arbeitgeber eine für die erforderlichen Arbeitsplatzmessungen akkreditierte Messstelle, kann er davon ausgehen, dass die Messstelle die Anforderungen nach Anhang 1 erfüllt und dass die von dieser Stelle ermittelten Erkenntnisse zutreffend sind¹. Beauftragt der Arbeitgeber eine nicht-akkreditierte Messstelle, muss er selbst prüfen, ob die Messstelle diese Anforderungen erfüllt.

(4) Die Anforderungen an innerbetriebliche Messstellen können eingeschränkt und an die im betrieblichen Rahmen durchzuführenden Ermittlungen und Beurteilungen angepasst werden. Diese Regelung kann z. B. angewendet werden, wenn in Abhängigkeit von den betriebspezifischen Verhältnissen die Ermittlung der inhalativen Exposition mittels einfacher Messverfahren möglich ist. Die Qualität der Ermittlungen und Beurteilungen muss gewährleistet bleiben.

4 Vorgehensweise zur Ermittlung der inhalativen Exposition

4.1 Allgemeines

(1) Der Arbeitgeber hat im ersten Schritt zu ermitteln, bei welchen Tätigkeiten Gefahrstoffe verwendet werden sowie entstehen oder freigesetzt werden können. Ermittlungen zur inhalativen Exposition müssen für alle in der Luft am Arbeitsplatz auftretenden Gefahrstoffe unter

¹ Liste akkreditierter Messstellen: <http://www.bua-verband.de/gefahrstoffmessungen>,
<https://www.dakks.de/de/akkreditierte-stellen-suche.html>.

Berücksichtigung der tätigkeitsbezogenen Informationen wie z. B. verwendete Arbeitsstoffe und Mengen, Arbeitsabläufe, Verfahren, Arbeits-, Betriebs- und Umgebungsbedingungen sowie vorhandene Schutzmaßnahmen vorgenommen werden.

(2) Ergebnisse früherer Arbeitsplatzmessungen oder anderer Messungen (siehe Anhang 2 Abschnitt 2) sowie nichtmesstechnischer Ermittlungen (siehe Anhang 3) sind zu berücksichtigen, sofern verfügbar.

(3) Zur frühzeitigen Erkennung erhöhter Expositionen auf Grund unvorhersehbarer Ereignisse oder eines Unfalls, insbesondere bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B, können z. B. Messungen technischer Parameter oder Verfahren der Dauerüberwachung (siehe Anhang 4 Abschnitt 2) eingesetzt werden.

(4) Anhand der Ergebnisse der Ermittlung der inhalativen Exposition wird ein Befund erstellt, der die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen beurteilt. Auf der Grundlage des Befundes sind Maßnahmen zur Befundsicherung festzulegen. Der Befund muss in die Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 400 einfließen und dort abschließend bewertet werden.

(5) Für die Ermittlung einer inhalativen Exposition ist unabhängig von der eingesetzten Ermittlungsmethode die Erhebung der relevanten Randbedingungen vor Ort erforderlich.

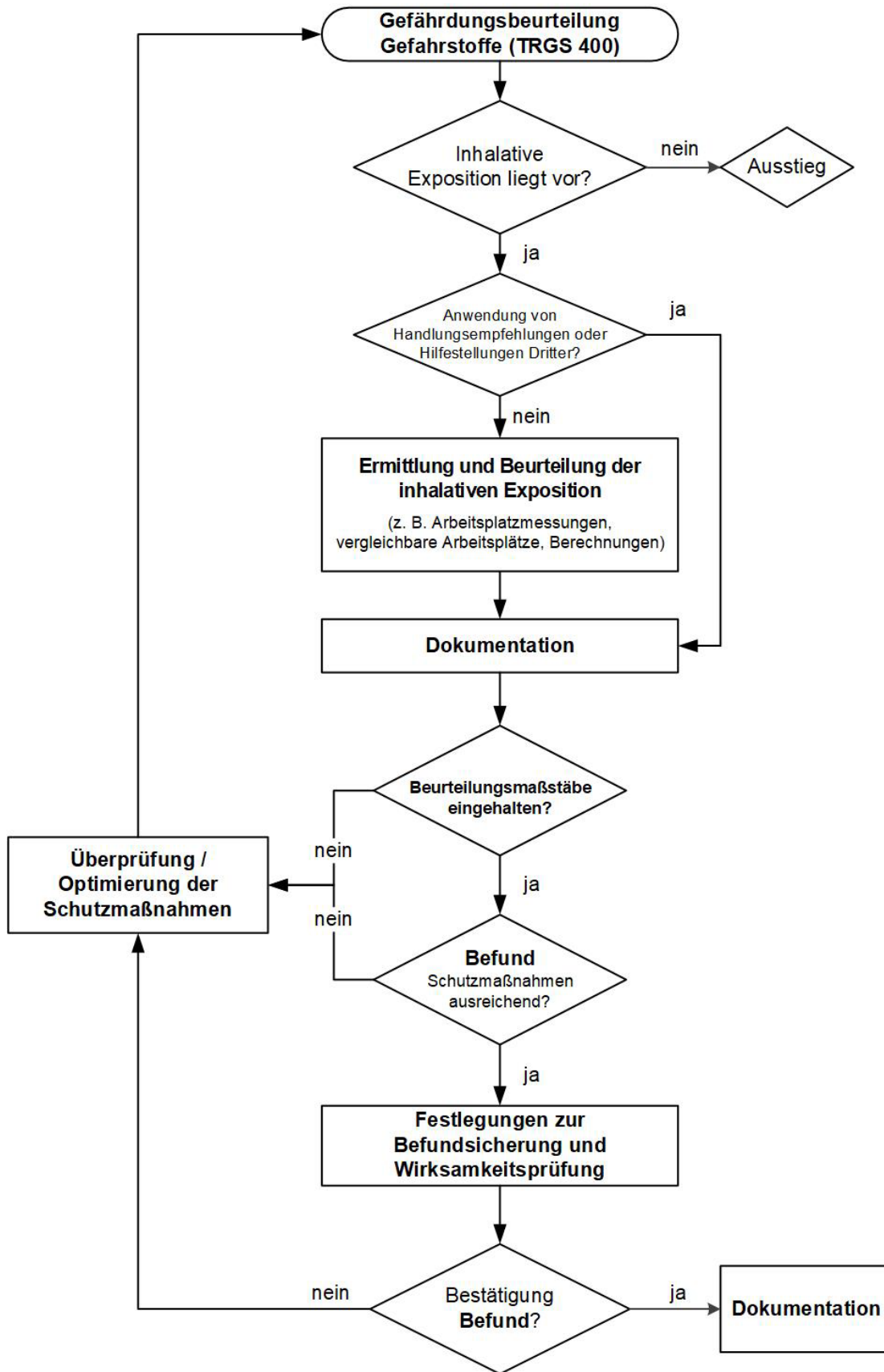


Abbildung 1 Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition (schematisch)

4.2 Erfassung und Beschreibung der Tätigkeiten und Festlegung des Arbeitsbereichs

(1) Zur Erfassung und Beschreibung der Tätigkeiten sind alle bestimmungsgemäßen Arbeitsvorgänge und Betriebszustände zu berücksichtigen. Dies gilt auch für nicht regelmäßig durchgeführte Tätigkeiten, wie z. B. Wartung oder Instandhaltung.

(2) Für die Tätigkeiten sind die Randbedingungen zu erheben und zu beschreiben, die für die inhalative Exposition relevant sind. Dies können sein:

1. Art der Tätigkeiten (z. B. Ein- und Umfüllen, Schweißen, Schleifen, Versprühen, Reinigen, Beschichten),
2. räumliche Bedingungen (z. B. Grundfläche, Raumhöhe, räumliche Gliederung, Raumausfüllung, ganz oder teilweise geschlossener Raum),
3. Tätigkeiten im Freien,
4. klimatische Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Luftgeschwindigkeit),
5. Arbeitsmittel (z. B. Schweißbrenner, Spritzpistole, Sackschütte, Radlader),
6. Art, Menge und Konzentration der eingesetzten Stoffe und Produkte (z. B. Bezeichnung, Aggregatzustand),
7. Bildung von Aerosolen (Stäube, Tröpfchen) und Freisetzungsvermögen der Stoffe (z. B. Staubungsverhalten, Flüchtigkeit),
8. Verfahrensweise (z. B. offen, geschlossen, unter Staubentwicklung, erhöhte Temperatur/Druck),
9. Emissionsorte und -quellen, Position der Beschäftigten zur Emissionsquelle, Sekundärquellen aus benachbarten Arbeitsbereichen,
10. technische Schutzeinrichtungen (z. B. Art und Leistung der Absaugung, Einhausung),
11. Lüftungsbedingungen (z. B. Art der Lüftung, Lüftungseinrichtungen, Luftführung, Lüftungsintensität),
12. Arbeitsleistung (z. B. Durchsatz),
13. Schwere der körperlichen Arbeit,
14. Arbeitsorganisation (z. B. Aufenthalts-/Expositionsdauer, zeitgleiche Belastungen),
15. persönliche Schutzmaßnahmen (insbesondere, wenn dadurch eine erhöhte körperliche Belastung entsteht).

(3) Auf Grundlage der Ermittlungen können bei gleichartigen Arbeitsbedingungen oder bei gleichartigen Tätigkeiten begrenzte Teile eines Betriebs zu einem Arbeitsbereich zusammengeführt werden. Der Arbeitsbereich (siehe Abschnitt 2 Absatz 2) kann einen oder mehrere Arbeitsplätze bzw. Arbeitsverfahren umfassen und räumlich oder organisatorisch festgelegt werden, z. B. durch Angabe der

1. räumlichen Abgrenzung,
2. Tätigkeiten,
3. Verfahrensweisen,
4. Anlagenarten,
5. Arbeitsmittel.

4.3 Erfassung der Gefahrstoffe

(1) Die Stoffe, die zur inhalativen Exposition beitragen können, sind zu identifizieren. Dazu gehören z. B.:

1. Einsatzstoffe,
2. Zwischen-, End- und Reaktionsprodukte,
3. Hilfsstoffe,
4. Verunreinigungen,
5. durch das Arbeitsverfahren entstehende bzw. freigesetzte Gefahrstoffe (z. B. Abgase von Motoren, Schweißrauche, Zersetzungsprodukte bei thermischen Verfahren) sowie
6. ggf. aus benachbarten Arbeitsbereichen eingetragene Gefahrstoffe.

Informationen hierzu können z. B. aus dem Gefahrstoffverzeichnis (siehe Abschnitt 5.8 der TRGS 400) und Sicherheitsdatenblättern entnommen werden.

(2) Aus den identifizierten Gefahrstoffen werden die für die inhalative Exposition relevanten Stoffe ausgewählt. Hierfür sind insbesondere das Freisetzungsverhalten, die Stoffmengen und die gefährlichen Eigenschaften zu berücksichtigen. Auf die Ermittlung bestimmter Stoffe kann verzichtet werden, wenn begründet werden kann, dass diese nicht relevant zur inhalativen Exposition beitragen (z. B. geringer Dampfdruck, geringe Einsatzmenge, geringes Staubungsverhalten).

(3) Für die Gefahrstoffe sind die verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 1 zusammenzustellen. Ist für einen Gefahrstoff kein verbindlicher Beurteilungsmaßstab vorhanden, kann der Arbeitgeber andere Beurteilungsmaßstäbe gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 2 heranziehen.

(4) Existiert für einen relevanten Gefahrstoff kein Beurteilungsmaßstab gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 1 oder 2, muss die inhalative Exposition anhand anderer Kriterien beurteilt werden (s. Abschnitt 5.3.3 Nummer 8).

(5) Werden bei der Analyse weitere Stoffe identifiziert, die für die inhalative Exposition relevant sind, sind diese zu berücksichtigen.

4.4 Methoden zur Ermittlung der inhalativen Exposition

(1) Auf der Grundlage aller tätigkeits- und stoffbezogenen Informationen ist die Methode für die Expositionsermittlung auszuwählen und anzuwenden. Es ist eine Ermittlungsmethode zu wählen, die Klarheit über die inhalative Exposition der Beschäftigten über die Schicht und über die Höhe der inhalativen Exposition bei Expositionsspitzen verschafft, so dass ein eindeutiger Befund erhoben werden kann.

(2) Für die Ermittlung der inhalativen Exposition stehen messtechnische Ermittlungsmethoden, z. B. Arbeitsplatzmessungen (siehe Anhang 2), oder nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden (siehe Anhang 3) zur Verfügung.

(3) Validierte messtechnische und nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden sind bevorzugt einzusetzen.

(4) Messtechnische und nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden können einander ergänzend eingesetzt werden. So können z. B. die Ergebnisse von Berechnungen dazu dienen, Arbeitsplatzmessungen gezielter einzusetzen.

(5) Unter bestimmten Randbedingungen ist die Durchführung von Arbeitsplatzmessungen nicht möglich oder liefert keine verwertbaren oder repräsentativen Ergebnisse. Dazu gehören

1. zu kurze Expositionsdauer,
2. zu kurze Tätigkeitsdauer,
3. nicht zur Verfügung stehende geeignete oder bedingt geeignete Messverfahren (siehe Anhang 2 Abschnitt 3.1),
4. ungünstige klimatische Bedingungen (z. B. hohe Windgeschwindigkeiten, extrem hohe/niedrige Temperaturen, Feuchtarbeitsplätze) oder
5. bestimmte Arbeiten im Freien, z. B. Bodenerkundung.

5 Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen

5.1 Beurteilungsmaßstäbe der inhalativen Exposition

(1) Beurteilungsmaßstäbe sind bei der Beurteilung der inhalativen Exposition an Arbeitsplätzen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung und zur Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen heranzuziehen. Es gibt die folgenden verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe:

1. Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) gemäß TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“,
2. Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen für krebserzeugende Gefahrstoffe im Rahmen des risikobasierten Maßnahmenkonzepts nach TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“, die aus Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) abgeleitet wurden,
3. Beurteilungsmaßstäbe aus stoffspezifischen TRGS.

(2) Stehen keine verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe zur Verfügung, können folgende Beurteilungsmaßstäbe zur Bewertung der Exposition herangezogen werden:

1. Grenzwertvorschläge der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe („MAK-Kommission“) bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) [2],
2. Grenzwerte für chemische Belastungen am Arbeitsplatz anderer Länder oder anderer wissenschaftlicher Expertenkommissionen. Eine Zusammenstellung internationaler Grenzwerte enthält z. B. die Datenbank „GESTIS-Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen“ des IFA, [3],
3. „Derived no effect level“ (DNEL) nach der REACH-Verordnung [4],
4. firmeninterne oder branchenweite Beurteilungswerte, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung festgelegt wurden (z. B. nach dem Konzept zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten gemäß BekGS 901 „Kriterien zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten“).

5.2 Beurteilungszeiträume

5.2.1 Schichtmittelwerte

(1) Beurteilungsmaßstäbe nach Abschnitt 5.1 sind in der Regel für einen Beurteilungszeitraum von 8 Stunden als Schichtmittelwerte definiert. Dies soll die Dauer einer Arbeitsschicht widerspiegeln.

(2) Bei einer Mittelungsdauer von 8 Stunden entspricht das Messergebnis dem Schichtmittelwert.

(3) Bei einer von der Schichtlänge abweichenden Mittelungsdauer gilt folgendes (siehe auch Anhang 2 Abschnitt 4.3):

1. Bei gleichförmiger Exposition über die gesamte Schicht kann der während eines bestimmten Teils der Schicht erhaltene Messwert dem Schichtmittelwert gleichgesetzt werden. Dies gilt auch, wenn der gewählte Zeitraum die Exposition während der Schicht repräsentativ beschreibt. Die Mittelungsdauer muss mindestens zwei Stunden betragen und kann sich aus mehreren einzelnen Messungen zusammensetzen.
2. Wenn während einer Schicht mehrere voneinander unterscheidbare Expositionszeiträume vorkommen können, sind für diese Zeiträume jeweils einzeln die Gefahrstoff-Konzentrationen zu ermitteln. Aus den einzelnen Messwerten wird unter Berücksichtigung der Expositionsdauern der Schichtmittelwert als zeitlich gewichteter arithmetischer Mittelwert berechnet:

$$\text{Schichtmittelwert } \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \sum_i (\text{Messwert}_i \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \times \frac{\text{Expositionsdauer}_i \text{ [min]}}{480 \text{ min}})$$

Wenn während eines oder mehrerer dieser Expositionszeiträume keine Gefahrstoffexposition vorliegt, gehen diese mit der Konzentration „Null“ in die Berechnung ein (verkürzte Exposition).

(4) Wenn die Schichtlänge von 8 h abweicht (z. B. bei abweichenden Arbeitszeitregelungen), ist die maximal mögliche Schichtdauer zur Beurteilung heranzuziehen. Der Messwert für diese Schichtlänge ist auf eine achtstündige Exposition (Schichtmittelwert) umzurechnen:

$$\text{Schichtmittelwert } \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \text{Messwert } \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \times \frac{\text{tatsächliche Schichtlänge [min]}}{480 \text{ [min]}}$$

5.2.2 Kurzzeitwerte

(1) Kurzzeitwerte (KZW) beziehen sich in der Regel auf einen Beurteilungszeitraum von 15 Minuten. Sie werden als Überschreitungsfaktor angegeben, der zur Berechnung der Kurzzeitwertkonzentration mit dem Beurteilungsmaßstab zu multiplizieren ist. Bei der Erhebung des Befundes sind zusätzlich die Dauer und der zeitliche Abstand zwischen den Expositionsspitzen innerhalb der Schicht zu berücksichtigen.

(2) Bei lokal wirksamen oder atemwegssensibilisierenden Stoffen (Kurzzeitwertkategorie I) ist ein Beurteilungszeitraum von 15 min festgelegt.

(3) Bei resorptiv wirksamen Stoffen (Kurzzeitwertkategorie II) sind auch längere Überschreitungsdauern zulässig. In diesen Fällen ist die Höhe der maximal zulässigen Konzentration in Abhängigkeit von der tatsächlichen Überschreitungsdauer zu berechnen:

$$\text{maximal zulässige Konzentration } \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \text{KZW } \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \times \frac{15 \text{ [min]}}{\text{Überschreitungsdauer [min]}}$$

(4) Für Stoffe ohne Kurzzeitwert dürfen Expositionen den Zahlenwert des Beurteilungsmaßstabes höchstens um den Faktor 8 übersteigen.

(5) Für krebserzeugende Stoffe ergänzen Kurzzeitwerte die Schichtmittelwerte, indem sie Konzentrationsschwankungen oberhalb

1. der Toleranzkonzentration oder
2. eines Beurteilungsmaßstabs aus einer stoffspezifischen TRGS

nach oben hin sowie in ihrer Dauer begrenzen. Für die Akzeptanzkonzentration sind keine Kurzzeitwerte festgelegt.

(6) Für krebserzeugende Stoffe mit Toleranzkonzentration oder Beurteilungsmaßstäben aus stoffspezifischen Technischen Regeln wird standardmäßig ein Überschreitungsfaktor von 8 für einen Beurteilungszeitraum von 15 Minuten festgelegt; stoffspezifisch sind Überschreitungsfaktoren kleiner 8 möglich. Ein Mindestzeitraum zwischen den einzelnen Kurzzeitwertphasen wird nicht festgelegt.

5.2.3 Momentanwerte

Momentanwerte (Angabe =X= in TRGS 900) dürfen zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. Aus messtechnischen Gründen soll jedoch der Beurteilungszeitraum nicht unter einer Minute liegen.

5.3 Bewertung der inhalativen Exposition

5.3.1 Bewertung von Einzelstoffen

(1) Zur Vergleichbarkeit von Ermittlungsergebnissen wird aus dem Schichtmittelwert der Stoffindex I berechnet.

$$I = \frac{\text{Schichtmittelwert} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]}{\text{Beurteilungsmaßstab} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]}$$

(2) Bei Messergebnissen unterhalb der Bestimmungsgrenze des Messverfahrens wird der Stoffindex mit der Bestimmungsgrenze berechnet. Der Stoffindex wird dann mit „≤“ gekennzeichnet.

(3) Für Kurzzeitwerte wird kein Stoffindex berechnet.

(4) Kann ein Gefahrstoff nicht spezifisch bestimmt werden, ist das aus dem unspezifischen Messverfahren resultierende Messergebnis für die Berechnung des Stoffindex heranzuziehen. Kommen mehrere Beurteilungsmaßstäbe in Frage, ist für die Bewertung nur der größte Stoffindex zu berücksichtigen (z. B. Calciumoxid und Calciumdihydroxid).

(5) Hat eine chemische Verbindung keinen eigenen Beurteilungsmaßstab, sondern nur ihre Bestandteile, ist für die Bewertung nur der Bestandteil mit dem größten Stoffindex zu berücksichtigen (z. B. Zinn(II)fluorid).

5.3.2 Bewertung von mehreren Stoffen oder Stoffgemischen

(1) Treten in der Luft am Arbeitsplatz während einer Schicht gleichzeitig oder nacheinander mehrere Stoffe oder Gemische von Stoffen auf, für die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) festgelegt sind, werden die Stoffindizes dieser Stoffe/Gemische addiert. Das Ergebnis ist der Bewertungsindex BI:

$$BI_{AGW} = \sum I_i = \frac{\text{Schichtmittelwert}_{\text{Stoff 1}}}{AGW_{\text{Stoff 1}}} + \frac{\text{Schichtmittelwert}_{\text{Stoff 2}}}{AGW_{\text{Stoff 2}}} + \dots + \frac{\text{Schichtmittelwert}_{\text{Stoff n}}}{AGW_{\text{Stoff n}}}$$

Von diesem Bewertungsverfahren kann im Einzelfall abgewichen werden, wenn dies arbeitsmedizinisch oder toxikologisch begründet werden kann.

(2) Tragen während einer Schicht neben Stoffen mit Arbeitsplatzgrenzwert gleichzeitig oder nacheinander Stoffe oder Gemische zur Exposition im Arbeitsbereich bei, für die ein Beurteilungsmaßstab nach Abschnitt 5.1 Absatz 2 veröffentlicht ist, wird empfohlen, diese bei der Berechnung eines Bewertungsindex auf Grundlage von Absatz 1 Satz 3 ebenfalls zu berücksichtigen.

(3) Stoffindizes $\geq 0,05$ müssen bei der Berechnung des Bewertungsindex berücksichtigt werden. Stoffindizes $< 0,05$ können berücksichtigt werden.

(4) Wird ein geeignetes Messverfahren (siehe Anhang 2 Abschnitt 3.1 Tabelle 5 und 6) eingesetzt und liegt das Messergebnis unter der Bestimmungsgrenze, ist der Stoffindex im Bewertungsindex nicht zu berücksichtigen.

(5) Wird ein bedingt geeignetes Messverfahren (siehe Anhang 2 Abschnitt 3.1 Tabelle 5 und 6) eingesetzt und liegt das Messergebnis unter der Bestimmungsgrenze, ist der für die Bestimmungsgrenze berechnete Stoffindex im Bewertungsindex zu berücksichtigen.

(6) Die nachfolgenden Beurteilungsmaßstäbe werden nicht bei der Berechnung des Bewertungsindex berücksichtigt:

1. Kurzzeitwerte,
2. der allgemeine Staubgrenzwert für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion: Es sind die Regelungen der TRGS 900 zur Beurteilung von Stäuben heranzuziehen. Hat ein Staubinhaltsstoff einen stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwert, ist dieser in den Bewertungsindex einzubeziehen. Gibt es für einen Staubinhaltsstoff sowohl in der alveolengängigen als auch der einatembaren Staubfraktion einen Arbeitsplatzgrenzwert, ist bei der Berechnung des Bewertungsindex der größere Stoffindex zu berücksichtigen,
3. Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen oder stoffspezifische Beurteilungsmaßstäbe für krebserzeugende Stoffe aus stoffspezifischen TRGS: Gibt es für krebserzeugende Stoffe einen Arbeitsplatzgrenzwert, ist deren Stoffindex bei der Berechnung des Bewertungsindex zu berücksichtigen.

5.3.3 Voraussetzungen für die Erhebung des Befundes

Für die Tätigkeit bzw. den Arbeitsbereich ist die ermittelte Expositionssituation im Hinblick auf eine Gefährdung der Beschäftigten und die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen schrittweise anhand der folgenden Bewertungskriterien zu beurteilen:

1. Bewertung von Stoffen mit Arbeitsplatzgrenzwerten unter Berücksichtigung des Stoffindex auf Basis der Schichtmittelwerte:
 - a) Ist der Stoffindex $I \leq 1$, lautet das Ergebnis: Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes.
 - b) Ist der Stoffindex $I > 1$, lautet das Ergebnis: Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes.
2. Bewertung von Stoffen mit einem Beurteilungsmaßstab aus stoffspezifischen TRGS sowie bei Stoffen mit Beurteilungsmaßstäben nach Abschnitt 5.1 Absatz 2 auf Basis der Schichtmittelwerte:
 - a) Ist der Stoffindex $I \leq 1$, lautet das Ergebnis: Einhaltung des Beurteilungsmaßstabes.
 - b) Ist der Stoffindex $I > 1$, lautet das Ergebnis: Überschreitung des Beurteilungsmaßstabes.
3. Bewertung von Stoffen mit Akzeptanz- und Toleranzkonzentration auf Basis der Schichtmittelwerte:
 - a) Ist der Schichtmittelwert kleiner oder gleich der Akzeptanzkonzentration, lautet das Ergebnis: Einhaltung der Akzeptanzkonzentration.
 - b) Ist der Schichtmittelwert größer als die Akzeptanzkonzentration und kleiner oder gleich der Toleranzkonzentration, lautet das Ergebnis: Überschreitung der Akzeptanzkonzentration und Einhaltung der Toleranzkonzentration.
 - c) Ist der Schichtmittelwert größer als die Toleranzkonzentration, lautet das Ergebnis: Überschreitung der Toleranzkonzentration.
4. Die Bewertung von Kurzzeitwerten erfolgt unter Berücksichtigung der Expositionshöhe und -dauer und des zeitlichen Abstandes zwischen den Expositionsspitzen innerhalb der Schicht. Die Anforderungen für Kurzzeitwerte sind erfüllt, wenn für einen Stoff
 - a) in keinem 15-Minuten-Intervall der Kurzzeitwert überschritten wird und
 - b) maximal vier 15-Minuten-Intervalle oberhalb des Beurteilungsmaßstabes nach Abschnitt 5.1 Absatz 1 oder 2 innerhalb einer Schicht auftreten und
 - c) zwischen jeweils zwei dieser 15-Minuten-Intervalle möglichst ein zeitlicher Abstand von 60 Minuten liegt. Bei Stoffen ohne KZW (Überschreitungsfaktor 8) oder Stoffen der Kurzzeitwertkategorie II sind in Abhängigkeit von der Höhe der ermittelten Konzentration auch längere zusammenhängende Kurzzeitwertphasen bis zu maximal 120 Minuten möglich. In diesem Fall ist die maximal zulässige Konzentration gemäß Abschnitt 5.2.2 Absatz 3 zu berechnen.
5. Für krebserzeugende Stoffe mit Toleranzkonzentration oder Beurteilungsmaßstäben gelten die Regelungen der TRGS 910 sowie Abschnitt 5.2.2 Absatz 6.
6. Die Anforderungen an Momentanwerte sind erfüllt, wenn diese zu keinem Zeitpunkt überschritten werden.
7. Bewertung von Bewertungsindizes:
 - a) Ist der Bewertungsindex $BI \leq 1$, lautet das Ergebnis: Einhaltung des Bewertungsindexes.
 - b) Ist der Bewertungsindex $BI > 1$, lautet das Ergebnis: Überschreitung des Bewertungsindexes.

8. Die Bewertung von Stoffen ohne Beurteilungsmaßstab nach Abschnitt 5.1 kann z. B. anhand nachfolgender Kriterien erfolgen. Eine Einhaltung der Bewertungskriterien liegt vor, wenn
- a) durch Analogieschlüsse von vergleichbaren Tätigkeiten und Stoffen dies fachlich begründet werden kann (z. B. mit einer homologen Verbindung mit einem AGW oder einem Surrogat),
 - b) Schutzmaßnahmen gegenüber chemischen Belastungen am Arbeitsplatz entsprechend branchen- oder tätigkeitsspezifischen Hilfestellungen (z. B. Verfahrens- und Stoffspezifische Kriterien (VSK) nach TRGS 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition“, Expositionsbeschreibungen der Unfallversicherungsträger, Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) [6], Branchenregelungen, Handlungsanleitungen zur guten Arbeitspraxis, Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG) der BAuA [7]) eingehalten sind,
 - c) der Stand der Technik, z. B. beschrieben in Merkblättern der Unfallversicherungsträger, Positivlisten von Geräten [8], umgesetzt ist.

5.3.4 Erhebung des Befundes

(1) Die ermittelte Exposition hat der Arbeitgeber im Hinblick auf eine Gefährdung der Beschäftigten und die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu beurteilen, wobei das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung nicht berücksichtigt werden darf. Bei Bedarf sind weitere fachkundige Stellen hinzuzuziehen. Zur Erhebung des Befundes sind alle Bewertungskriterien gemäß Abschnitt 5.3.3 für einen zu beurteilenden Arbeitsbereich oder eine Tätigkeit zusammenzuführen und zu beurteilen. Das Ergebnis dieser Beurteilung ist der Befund. Der Befund zur Beurteilung der Schutzmaßnahmen hinsichtlich der inhalativen Exposition kann lauten:

1. Schutzmaßnahmen ausreichend,
2. Schutzmaßnahmen nicht ausreichend.

Der Befund ist zu begründen und zu dokumentieren (siehe Abschnitt 7 und Anhang 1 Abschnitt 6). Zum Befund gehören auch Festlegungen zur Befundsicherung nach Abschnitt 6.

(2) Der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ liegt vor, wenn die Maßnahmen nach §8 der GefStoffV berücksichtigt und alle Bewertungskriterien gemäß Abschnitt 5.3.3 einschließlich der Einhaltung der Akzeptanzkonzentration erfüllt sind und dies beispielsweise anhand eines der nachfolgenden Kriterien auch zukünftig begründet werden kann:

1. Ermittlungen für den ungünstigen Fall (reasonable worst case)

Die Ermittlungen wurden für ungünstige Bedingungen durchgeführt, so dass im Normalfall niedrigere Belastungen zu erwarten sind.

2. Relevante Randbedingungen sind langfristig stabil

Es ist sichergestellt, dass sich die relevanten Randbedingungen langfristig nur unwesentlich ändern, so dass vergleichsweise geringe Schwankungen der Exposition zu erwarten sind.

3. Dauerüberwachung

Durch Dauerüberwachung werden bei Überschreiten einer vorgegebenen Konzentration geeignete Schutzmaßnahmen ausgelöst (siehe Anhang 4).

4. Fortlaufende Wirksamkeitskontrolle

Durch ständige oder regelmäßige Kontrolle der Wirksamkeit wird gewährleistet, dass die im Befund festgelegten geeigneten Schutzmaßnahmen umgesetzt werden.

5. Erfahrungen von vergleichbaren Arbeitsplätzen

Erfahrungen von vergleichbaren Arbeitsplätzen haben gezeigt, dass langfristig die Erfüllung der Voraussetzungen für den Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ zu erwarten ist.

(3) Der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ kann auch getroffen werden, wenn die Toleranzkonzentration eingehalten wird und dargelegt werden kann, dass alle technischen, organisatorischen und hygienischen Schutzmaßnahmen ausgeschöpft und weitere Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik absehbar nicht möglich sind. Gemäß A2.2.2 Tabelle 4 werden Kontrollmessungen empfohlen.

(4) Bei Stoffen mit Beurteilungsmaßstäben aus stoffspezifischen TRGS liegt der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ vor, wenn der Beurteilungsmaßstab eingehalten wird und die Vorgaben der jeweiligen stoffspezifischen Schutzmaßnahmen-TRGS erfüllt sind.

(5) Der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ kann auch getroffen werden, wenn gewährleistet wird, dass die Verhältnisse am Arbeitsplatz repräsentativ wiedergespiegelt werden und

1. bei einer einzelnen Arbeitsplatzmessung der Stoffindex I bzw. der Bewertungsindex BI während einer Schicht kleiner oder gleich 0,10 sind oder
2. für mindestens drei Arbeitsplatzmessungen in verschiedenen Schichten die Ergebnisse vorliegen und alle Stoffindizes bzw. die Bewertungsindizes kleiner oder gleich 0,25 sind und
3. zusätzlich zu 1. und 2. die Kurzzeitwertanforderungen erfüllt sind.

(6) Bei einer einzelnen Arbeitsplatzmessung von krebserzeugenden Stoffen mit ERB kann der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ getroffen werden, wenn gewährleistet ist, dass die Verhältnisse am Arbeitsplatz repräsentativ wiedergespiegelt werden und der Schichtmittelwert kleiner oder gleich $0,20^2$ der Akzeptanzkonzentration ist.

(7) Der Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ liegt vor, sobald eines der Bewertungskriterien gemäß Abschnitt 5.3.3 und die Anforderungen gemäß Abschnitt 5.3.4 Absatz 3 und 4 nicht erfüllt sind. Im Befund sind alle betrachteten Stoffe oder Tätigkeiten möglichst differenziert darzustellen, um expositionsmindernde Maßnahmen festlegen zu können.

(8) Ein Befund nach Absatz 2 bis 7 kann nicht abgeleitet werden, wenn z. B.

1. die Randbedingungen nicht repräsentativ sind,
2. das Ermittlungsergebnis nicht repräsentativ ist,
3. noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur Exposition vorliegen,
4. die Ergebnisse der Expositionsermittlung stark schwanken oder
5. Ermittlungsergebnisse nicht plausibel sind.

² Nur bei Anwendung eines geeigneten Messverfahrens (s. Anhang 2 Abschnitt 3.1) kann dieser Wert erreicht werden.

Es sind alle betrachteten Stoffe oder Tätigkeiten möglichst differenziert darzustellen, um die weitere Vorgehensweise festlegen zu können, wie der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ erreicht werden kann.

(9) Lautet der Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“, sind unverzüglich expositionsmindernde Maßnahmen und anschließend eine erneute Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition vorzunehmen.

6 Befundsicherung

(1) In regelmäßigen Abständen oder aus gegebenem Anlass hat der Arbeitgeber zu überprüfen, ob der abgeleitete Befund unverändert gültig ist. In der Gefährdungsbeurteilung ist festzulegen, wie die Befundsicherung zu erfolgen hat.

(2) Die Abstände für die Überprüfung des Befundes sind abhängig von den betrieblichen Bedingungen festzulegen. Empfohlen sind die in Anhang 2 Abschnitt 2.2 genannten Abstände, wobei nach Möglichkeit jahreszeitliche Einflüsse auf die Höhe der Exposition mitberücksichtigt werden sollten. Gegebene Anlässe für die Überprüfung des Befundes können z. B. sein:

1. die Änderung relevanter Randbedingungen,
2. eine Änderung von Beurteilungsmaßstäben oder
3. eine Änderung des einschlägigen Standes der Ermittlungsverfahren (z. B. Messverfahren, nichtmesstechnische Ermittlungsverfahren).

Sind die Änderungen von Bedeutung für die Beurteilung der inhalativen Exposition, ist der Befund zu aktualisieren.

(3) Für die Befundsicherung haben sich insbesondere Kontrollmessungen bewährt. Häufigkeit und Art der Kontrollmessungen sind in einem Kontrollmessplan festzulegen (Anhang 2 Abschnitt 2.2). Hierbei sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeitsplatzmessungen zu berücksichtigen.

(4) Die Befundsicherung kann auch mit fest installierten Messeinrichtungen (Dauerüberwachung, siehe Anhang 4) durchgeführt werden, wenn die Messeinrichtungen so ausgelegt sind, dass sie eine Expositionsbeurteilung ermöglichen und die Messergebnisse aufgezeichnet werden. Hierbei ist auch die Einhaltung der Kurzzeitwertanforderungen zu beachten.

(5) Die Befundsicherung kann auch durch Überprüfung technischer Parameter erfolgen. Technische Parameter sind z. B. Abluft- oder Absaugvolumenstrom, die unter den im Befund festgelegten Bedingungen überprüft werden.

(6) Der Kontrollmessplan kann verlassen werden, wenn durch eine ausreichende Zahl von Messergebnissen belegt wird, dass auf Grund der Höhe und der Streuung der Stoff- und Bewertungsindizes sowie der Höhe und Dauer der Expositionsspitzen die Schutzmaßnahmen ausreichend sind (siehe Anhang 2 Abschnitt 2.2). Mit Ausstieg aus dem Kontrollmessplan ist festzulegen, wie die weitere Befundsicherung durchzuführen ist.

(7) Bei Anwendung nichtmesstechnischer Ermittlungsmethoden ist die Befundsicherung im Jahresabstand durchzuführen.

7 Dokumentation

- (1) Die Ergebnisse der Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition sind zu dokumentieren. Messung oder nichtmesstechnische Ermittlung sowie Dokumentation mit Befunderhebung dürfen grundsätzlich personell nicht voneinander getrennt sein. Die Dokumentation ist so anzulegen, dass sämtliche Entscheidungswege bis zum Befund nachvollziehbar sind.
- (2) Die detaillierten Anforderungen an die Dokumentation für messtechnische Ermittlungen sind in Anhang 1 Abschnitt 6 und für nichtmesstechnischen Ermittlungen in Anhang 3 Abschnitt 7 aufgeführt.
- (3) Der Arbeitgeber hat Regelungen zur Aufbewahrung der Dokumentation gemäß TRGS 400 Abschnitt 8 zu treffen.

Anhang 1: Anforderungen an Messstellen, die messtechnische Ermittlungen und Beurteilungen der Exposition durchführen, einschließlich Anforderungen an die Berichterstattung

A1.1 Allgemeines

- (1) Die von einem Arbeitgeber beauftragte Messstelle, die messtechnische Ermittlungen und Beurteilungen der Exposition durchführt, muss die in diesem Anhang beschriebenen Anforderungen erfüllen.
- (2) Der Arbeitgeber muss der für ihn tätig werdenden Messstelle alle erforderlichen Unterlagen und Informationen gemäß TRGS 400, insbesondere das Gefahrstoffverzeichnis gemäß TRGS 400 Abschnitt 5.8, zur Verfügung stellen.
- (3) Eine Messstelle hat die Anforderungen an Prüflaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 [9] zu erfüllen, die ihrem Tätigkeitsbereich angemessen sind. Art, Bedeutung und Umfang der durchzuführenden Arbeiten sind dabei zu berücksichtigen.
- (4) Die im Auftrag des Arbeitgebers tätig werdenden Messstellen müssen fachlich und organisatorisch unabhängig vom Weisungsrecht des Arbeitgebers sein. Bei innerbetrieblichen Messstellen kann die Unabhängigkeit vom Weisungsrecht auf die Aufgaben nach dieser TRGS beschränkt sein.

A1.2 Anforderungen an das Personal

A1.2.1 Personelle Ausstattung und Fachkunde

- (1) Das Personal einer Messstelle setzt sich mindestens zusammen aus der Leitung der Messstelle (Anforderungen siehe Anhang 1 Abschnitt 2.2) und einer Person zur Durchführung von Messungen (Anforderungen siehe Anhang 1 Abschnitt 2.3). Beide Funktionen können in einer Person vereint sein.
- (2) Die erforderliche Fachkunde umfasst die zur Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition notwendigen gefahrstoffbezogenen und ermittlungsmethodischen Kenntnisse in Verbindung mit einer einschlägigen Berufsausbildung und -erfahrung.
- (3) Durch interne oder externe Fortbildungsmaßnahmen muss sichergestellt sein, dass das gesamte Personal einer Messstelle über aktuelle Entwicklungen im Gefahrstoffrecht und den aktuellen Stand der Messung von Gefahrstoffen informiert ist.
- (4) Einer Messstelle muss eine geeignete Person zur Wahrnehmung der Qualitätssicherung der Messstelle zur Verfügung stehen. Diese Person muss mit der Tätigkeit der Messstelle vertraut sein und kann, insbesondere bei kleinen Messstellen, auch eine der in Absatz 1 dieses Abschnitts genannten Personen sein.
- (5) Alle Mitarbeiter müssen ihrer Funktion entsprechend angemessene Kenntnisse haben über
 1. physikalisch-chemische Eigenschaften von Gefahrstoffen,
 2. Gesundheitsgefahren bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen,
 3. im Gefahrstoffrecht geltende Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln,
 4. das Regelwerk der Unfallversicherungsträger und

5. zu berücksichtigende Normen.

A1.2.2 Leitung einer Messstelle

Die Leitung muss fachkundig sein. Dieses wird als gegeben angenommen, wenn sie

1. ein naturwissenschaftliches oder technisches Hochschulstudium erfolgreich abgeschlossen hat und
2. zusätzlich eine mindestens zweijährige Berufserfahrung auf dem Gebiet der Ermittlung, Messung und Beurteilung von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz vorweisen kann sowie Gefahrstoffmessungen und Bewertungen nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe selbst durchgeführt hat oder
3. die Eignung durch eine geeignete naturwissenschaftlich/technische Qualifikation, die durch entsprechende Ausbildung und Berufserfahrung erworben wurde, nachweisen kann.

A1.2.3 Mitarbeiter einer Messstelle

- (1) Die Mitarbeiter einer Messstelle müssen eine naturwissenschaftliche oder technische Ausbildung erfolgreich absolviert haben.
- (2) Sie müssen Kenntnisse und Erfahrungen bei der Messung von Gefahrstoffen in der Luft an Arbeitsplätzen aufweisen können.

A1.3 Anforderungen an die technische Ausstattung

- (1) Wer die messtechnische Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Gefahrstoffexposition am Arbeitsplatz durchführt, muss über die notwendigen technischen Voraussetzungen verfügen. Die gerätetechnische Ausstattung muss dem Stand der Technik entsprechen und für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet sein. Informationen hierzu befinden sich in der einschlägigen Literatur (z. B. Branchen- oder tätigkeitsspezifische Hilfestellungen, Arbeitsgruppe "Luftanalysen" der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Arbeitsgruppe Analytik im Sachgebiet Gefahrstoffe der DGUV, IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“, Veröffentlichungen der BAuA).
- (2) Zur notwendigen technischen Ausstattung einer Messstelle gehören:
 1. Messgeräte zur Ermittlung der für die Messung relevanten Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Luftfeuchte, Luftströmung),
 2. Geräte zur Erfassung von Gefahrstoffen (z. B. Probenahmepumpen, Probenahmesysteme, direktanzeigende Messgeräte),
 3. Systeme für Transport und Lagerung der Proben (z. B. Kühlboxen, Transportbehälter),
 4. Systeme zur analytischen Bestimmung, sofern die Bestimmung nicht an ein externes Labor vergeben wird,
 5. Einrichtungen zur Überprüfung aller messwertrelevanten Geräte (z. B. Volumenstrommessgeräte),
 6. Ausstattung zur Berechnung von Messergebnissen und zur Archivierung von Rohdaten und Berichten,
 7. Zubehör (z. B. Uhr, Tragegurte, Schläuche, Stative).

- (3) Die gerätetechnische Ausstattung muss regelmäßig geprüft, gewartet und ggf. kalibriert werden.
- (4) Messungen in explosionsgefährdeten Bereichen erfordern ggf. eine spezielle Gerätetechnik.
- (5) Für Messungen unter Tage sind die besonderen Anforderungen nach Anhang 1 Abschnitt 5 zu erfüllen.

A1.4 Anforderungen an die Organisation

A1.4.1 Organisation

Messung sowie Dokumentation mit Befunderhebung dürfen grundsätzlich personell nicht getrennt sein.

A1.4.2 Organisatorische Anforderungen für die Zusammenarbeit mit dem analytischen Labor

- (1) Eine Messstelle kann ein unternehmensinternes oder externes Labor mit der analytischen Bestimmung beauftragen, wenn in Zusammenarbeit mit diesem Labor die Anforderungen dieser TRGS an Messverfahren für Gefahrstoffe in der Luft an Arbeitsplätzen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3 erfüllt sind.
- (2) Die Zusammenarbeit von Messstelle und Labor ist in schriftlicher Form verbindlich und umfassend zu regeln.
- (3) Messstelle und Labor müssen für die Qualitätssicherung der Mess- und Analyseergebnisse Sorge tragen und dies dokumentieren.
- (4) Vor der Durchführung einer Messung stimmen sich Messstelle und Labor über anzuwendende Messverfahren und Arbeitsabläufe ab. Die Messstelle hat sich über die Eignung des Messverfahrens für die geplante Messaufgabe (z. B. im Hinblick auf Störeinflüsse) zu vergewissern.
- (5) Der Messstelle und dem Labor muss jeweils eine Beschreibung des aktuellen Messverfahrens vorliegen.
- (6) Bei der Übergabe der Proben an das Labor sind im begleitenden Analysenauftrag die zu bestimmenden Parameter zu benennen. Dem Labor sind ergänzende Informationen über den Verlauf sowie Besonderheiten bei der Probenahme, die Einfluss auf das Analyseergebnis haben können, zur Verfügung zu stellen.
- (7) Das Labor stellt der Messstelle das Analyseergebnis zur Verfügung. Der Messstelle sind vom Labor Besonderheiten bei der analytischen Bestimmung, insbesondere unerwartete Analyseergebnisse und Abweichungen vom Analysenverfahren oder festgestellte Querempfindlichkeiten zur Verfügung zu stellen.

A1.5 Zusätzliche Anforderungen bei Messungen unter Tage

A1.5.1 Allgemeines

In Ergänzung der in diesem Anhang beschriebenen generellen Mindestanforderungen sind von Messstellen, die Messungen unter Tage durchführen, zusätzlich folgende Anforderungen zu erfüllen.

A1.5.2 Personelle Anforderungen

- (1) Die Leitung der Messstelle muss über Kenntnisse und praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der Ermittlung, Messung und Beurteilung von Gefahrstoffen unter Tage sowie über spezifische Bergbauerfahrungen (unter Tage, ggf. in speziellen Bergbaubranchen) verfügen. Ferner muss sie mit den besonderen Gesundheitsgefahren, den Risiken sowie mit den einschlägigen technischen Regelwerken des Untertagebergbaus vertraut sein.
- (2) Das Personal der Messstelle muss über Kenntnisse und Erfahrungen in der Probenahme und Analytik von Gefahrstoffen in der Luft an Arbeitsplätzen unter Tage verfügen.
- (3) Fortbildungsmaßnahmen des eingesetzten Personals müssen insbesondere auch bergbauliche Belange berücksichtigen.

A1.5.3 Gerätetechnische Ausstattung

- (1) Bei Messungen in explosionsgefährdeter Atmosphäre und insbesondere in schlagwettergefährdeten Bereichen muss die gesamte Messausrüstung (z. B. Pumpen, weitere elektrische Geräte, Schläuche, Gurte, Probenahmesysteme) in entsprechender explosionsgeschützter Ausführung eingesetzt werden.
- (2) Unter Tage herrschen besondere Umgebungsbedingungen (z. B. hohe Luftdrücke, extreme Luftfeuchten). Dies ist bei der Auswahl des anzuwendenden Messverfahrens zu berücksichtigen. Bei direktanzeigenden Messsystemen ist die diesbezügliche Unempfindlichkeit zu prüfen. Wenn möglich, ist eine Kalibrierung vor Ort vorzunehmen.

A1.6 Anforderungen an die Berichterstattung bei messtechnischen Ermittlungen

A1.6.1 Allgemeine Anforderungen an die Berichterstattung

Zu jeder messtechnischen Ermittlung und Beurteilung von Gefahrstoffen in der Luft in Arbeitsbereichen ist ein Bericht unter Berücksichtigung des geltenden, relevanten technischen Regelwerks zu erstellen.

A1.6.2 Inhalt des Berichtes

- (1) Der Bericht muss Folgendes enthalten:
 1. Titel,
 2. Messaufgabe gemäß Anhang 2 Abschnitt 2 dieser TRGS,
 3. Anlass der Messung,
 4. Messstelle (Name, Anschrift),
 5. Auftraggeber (Name, Anschrift),
 6. begleitende Informationen zur Ermittlung, z. B. Vorbesprechung (Teilnehmer, Datum), Bearbeiter der Ermittlungsaufgabe, Ansprechpartner, Vorgangsnummer und Datum,
 7. Festlegung des Arbeitsbereichs einschließlich seiner räumlichen und organisatorischen Beschreibung (Firma, Anschrift, Betriebsort),
 8. Beschreibung der Tätigkeiten mit Gefahrstoffen,
 9. Festlegung und Begründung der Auswahl der Gefahrstoffe, deren Konzentrationen zu ermitteln sind (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.3),

10. Art und Menge sowie relevante Einstufungen und gefährliche Eigenschaften der Gefahrstoffe sowie Beurteilungsmaßstäbe,
 11. relevante Randbedingungen (siehe Absatz 4 dieses Abschnitts sowie Abschnitt 4.2 Absatz 2 dieser TRGS),
 12. Angaben zum Messverfahren (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.4 Absatz 1 und 5),
 13. Informationen zur Probenahme/Messung (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.4 Absatz 2 und 4),
 14. Informationen zur analytischen Bestimmung, Datum der Analyse, ggf. Name und Anschrift des externen Analysenlabors (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.4 Absatz 1),
 15. Ermittlungsergebnisse (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.4 Absatz 4),
 16. Befund mit Begründung (Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen) (siehe Anhang 1 Abschnitt 6.5),
 17. Hinweise zur Befundsicherung,
 18. Ausstellungsdatum des Berichts,
 19. Unterschriften der Leitung der Messstelle und des Berichterstellenden,
 20. eindeutige Kennzeichnung auf jeder Seite durch u. a. Berichtsnummer oder Vergleichbares, Seitenzahl, Gesamtseitenzahl,
 21. Verzeichnis der verwendeten Normen, technischen Regeln, Literatur, Vorgängerberichte.
- (2) Sofern ein ausführlicher Bericht über die inhalative Exposition oder eine Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV bezüglich des Arbeitsbereichs vorliegt, können die Ergebnisse bei der Überprüfung des Befundes in verkürzter Weise unter Berücksichtigung der Empfehlungen aus dem vorliegenden Bericht festgehalten werden.
- (3) Der untersuchte Arbeitsbereich ist möglichst detailliert zu beschreiben, um auch Dritten einen Einblick in die Tätigkeiten und die Arbeitsabläufe der Beschäftigten, deren inhalative Exposition zu bestimmen ist, zu ermöglichen. Es empfiehlt sich, auch Skizzen und Fotos aufzunehmen.
- (4) Die relevanten Randbedingungen gemäß Abschnitt 4.2 zum Zeitpunkt der Ermittlung sind zu beschreiben. Angaben, die vom Betrieb zur Verfügung gestellt werden, sind in den Bericht zu übernehmen und entsprechend kenntlich zu machen (z. B. Durchsatz, Einsatzmengen, Lüftungsbedingungen).
- (5) Der Bericht kann auch Hinweise und Vorschläge für durchzuführende Maßnahmen enthalten.
- (6) Der Bericht muss den Hinweis enthalten, dass eine auszugsweise Verwendung (einzeln Seiten) des Messberichtes der Zustimmung des Erstellers bedarf.

A1.6.3 Informationen zu den messtechnisch ermittelten Gefahrstoffen

- (1) Es ist zu dokumentieren, von wem und auf welcher Grundlage die Auswahl der messtechnisch ermittelten Gefahrstoffe vorgenommen wurde (Gefahrstoffverzeichnis, SDB etc.).
- (2) Die messtechnisch ermittelten Gefahrstoffe sind je Arbeitsbereich und, soweit möglich, tätigkeitsbezogen zu dokumentieren:
 1. Name/Bezeichnung der Gemische/Materialien/Einsatzstoffe, einschließlich Einsatzzweck/Verwendung/Vorkommen, Zustand und Menge,

2. die darin enthaltenen bzw. daraus entstehenden oder freigesetzten Gefahrstoffe mit CAS-Nummer (soweit vorhanden),
3. die zugrunde gelegten Beurteilungsmaßstäbe mit Art und Herkunft gemäß Abschnitt 5.1 dieser TRGS.

A1.6.4 Messtechnische Ermittlung

(1) Die Messaufgabe nach Anhang 2 Abschnitt 2 und das Ermittlungsergebnis sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Dazu gehören Angaben der eingesetzten Messverfahren nach Anhang 2 mit Ausgabestand und Kurzbeschreibungen, die mindestens Angaben zu Bestimmungsgrenzen und ggf. Querempfindlichkeiten enthalten.

(2) Angaben zu den Probenahmen:

1. Probenahmesystem (Pumpe, Probenträger und Sammelmedien),
2. messstelleninterne Probenbezeichnung und -nummer,
3. Luftvolumenstrom,
4. direktanzeigende Messgeräte,
5. Probenahmedauer,
6. klimatische Daten,
7. Probentransfer und -lagerung (falls erforderlich).

(3) Besonderheiten der analytischen Bestimmung sind zu dokumentieren. Dazu gehört auch die Identifikation weiterer expositionsrelevanter Stoffe.

(4) Die erhaltenen Ermittlungsergebnisse sind übersichtlich und für den Auftraggeber verständlich darzustellen. Hierzu gehören insbesondere Angaben zu

1. Person, die die Probenahme/Messung durchgeführt hat
2. Datum und Zeitangaben zur Probenahme,
3. Probenahmeort,
4. Stoffbezeichnungen,
5. Messwerten,
6. Messergebnissen (Schicht- und Kurzzeitwerte gemäß TRGS 900, Abschnitt 1 als Massenkonzentration, ggf. unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen [10]),
7. ggf. Stoffindizes, Bewertungsindizes.

(5) Es ist anzugeben, ob ein geeignetes oder bedingt geeignetes Messverfahren gemäß den Vorgaben dieser TRGS eingesetzt wurde (siehe Anhang 2 Abschnitt 3.1). Handelt es sich um ein bedingt geeignetes Messverfahren, ist zu begründen, warum nicht durch Verlängerung der Probenahmedauer, Erhöhung des Volumenstroms der Probenahme usw. eine Verbesserung des Leistungsvermögens (Bestimmungsgrenze) erreicht werden konnte.

A1.6.5 Befund und Befundsicherung

Folgende Punkte sind zu berücksichtigen:

1. Bezugnahme auf die gestellte Aufgabe,

2. Befund mit Begründung unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Informationen (ergebnisrelevante Vorkommnisse berücksichtigen!),
3. Maßnahmen zur Befundsicherung festlegen, beschreiben und begründen, sofern dies infolge der Aufgabenstellung erforderlich ist,
4. ggf. Empfehlungen zu/Festlegung von Schutzmaßnahmen,
5. ggf. Aussage zu Leitkomponenten oder Surrogaten,
6. ggf. Aussage zu vereinfachten messtechnischen Ermittlungsverfahren.

A1.7 Probenahme-, Mess- und Analysenverfahren

Die Anforderungen an eine Messstelle richten sich nach ihren Aufgaben. Messstellen können auf Grundlage der folgenden Einteilungen die von ihnen beherrschten Messverfahren benennen.

Tabelle 1: Probenahmeverfahren für Arbeitsplatzmessungen

		Verfahren	Beispiele
1	Partikel (E- und A-Fraktion)	Probenahme auf Filtern mit Sammelkopf für die einatembare und alveolengängige Fraktion	Metallstäube, Holzstaub, Dieselmotoremissionen, Chrom(VI), Quarz, Arsen trioxid, Antimontrioxid, organische Feststoffe wie z. B. Oxalsäure oder Schleifstäube von Polymerwerkstoffen, Pharmawirkstoffe
2	Fasern	Probenahme auf Filtern mit Sammelkopf für die Zählung von Fasern	Asbest, anorganische Fasermaterialien (künstliche Mineralfasern, Keramikfasern), organische Fasermaterialien
3	Gase und Dämpfe	aktive oder passive Probenahme von Gasen und Dämpfen durch Adsorption oder Reaktion aktive Probenahme durch Absorption	Lösemitteldämpfe, Ammoniak, Schwefeldioxid, Chlor, Phosphorylchlorid, Aldehyde, anorganische Säuren, Isocyanate, Nitrosamine Chlor, Schwefeldioxid, Ozon
4	mehrphasig auftretende Gefahrstoffe ³	gleichzeitige Probenahme von Partikel- und Gas-/Dampfphase	Aminoethanol, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Naphthalin, Dioxine, Kühlschmierstoffe, Quecksilber, Lackaerosole

³ Stoffe, die gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen können, sind in der TRGS 900 mit der Bemerkung (11) *Summe aus Dampf und Aerosol* gekennzeichnet.

5	Gefahrstoffe unter besonderen Bedingungen	Messverfahren für 1 bis 4, die für besonders heiße, kalte oder feuchte Arbeitsplätze sowie unter Tage geeignet sind.	Kohlenstoffdioxid in Kühlhäusern, Ammoniak in Kühlhäusern, Trichloramin in Hallenschwimmbädern, Stickoxide unter Tage
---	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 2: Direktanzeigende Messverfahren

		Verfahren	Beispiele
1	Partikel	Kondensationskernzähler, Partikelzähler auf Laser-Basis Streulichtphotometer	ultrafeine Partikel, Nanopartikel A-Staub
2	Organische und anorganische Stoffe	Flammenionisationsdetektor (FID), Photoionisationsdetektor (PID) Wärmetönungssensor Elektrochemische Sensoren Infrarot-Sensoren Infrarot-Spektrometer (IR, FTIR) Chemolumineszenz UV/VIS - Photometrie	Lösemittel entzündbare Lösemittel Schwefeldioxid, Stickoxide, Chlor, Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid Kohlenstoffdioxid Lösemittel, Ketone, Aromaten, Aliphaten, Ester, Salzsäure (gasförmig) Stickoxide, Ozon Ozon, Schwefelwasserstoff, Schwefeldioxid
3	Gefahrstoffe unter besonderen Bedingungen	Messverfahren für 1 und 2, die für besonders heiße, kalte oder feuchte Arbeitsplätze sowie unter Tage geeignet sind.	Ammoniak in Kühlhäusern

Tabelle 3: Analysenverfahren

		Verfahren	Beispiele
1	Partikel (E- und A-Fraktion)	Gravimetrie - Messung der Konzentrationen einatembarer und alveolengängiger Stäube	granuläre biobeständige Stäube (GBS), Holzstaub
2	Fasern	Rasterelektronenmikroskopische Zählung und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDXA) zur Identifizierung von Fasern	Asbest, anorganische Fasermaterialien (künstliche Mineralfasern, Keramikfasern), organische Fasermaterialien
3	Metalle und Metallverbindungen	Bestimmung der Metallkonzentrationen mit z. B. AAS, ICP-OES oder ICP-MS	Nickel, Cobalt, Kupfer, Mangan, Arsen trioxid, Antimontrioxid, Quecksilber und anorganische Quecksilberverbindungen
4	Anorganische Stoffe	Ionenchromatographie	Säuren, Laugen, Phosphor-pentoxid, Calciumhydroxid, Ammoniak, Schwefeldioxid, Phosphoroxchlorid, Chlor, Chrom(VI)
		Photometrie	Chrom(VI), Ozon, Hydrazin, Wasserstoffperoxid
5	Organische Stoffe	HPLC (DAD, MS, FLD), Ionenchromatographie	langkettige Alkohole ab C ₈ , Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Phthalate, Aldehyde, Polychlorierte Biphenyle, kurzkettige organische Säuren, Alkanolamine, Trikesylphosphate
		Gaschromatographie (z. B. FID, MSD)	Lösemittel, Amine, Ketone, Phenole, Aromaten, Aliphaten, Ester, Nitrosamine, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
		Spektrometrische Verfahren (z. B. IR)	Kühlschmierstoffe, Bitumen
6	Spezielle Gefahrstoffe	Stoff- bzw. Stoffgruppenspezifische Analysenverfahren	Organische Quecksilberverbindungen, Isocyanate und Oligomere, Dieselmotoremissionen, Siliciumdioxid

Anhang 2: Messtechnische Ermittlung

A2.1 Allgemeine Anforderungen

- (1) Wer Gefahrstoffmessungen durchführen will, muss eine Messstrategie gemäß dieser TRGS festlegen und über die erforderliche Ausrüstung und Fachkunde verfügen (siehe Anhang 1).
- (2) Die Messstrategie für Arbeitsplatzmessungen umfasst
 1. die Festlegung der Messaufgabe,
 2. die Auswahl der Messverfahren und
 3. die Festlegung der Messorte sowie der Messzeiten und -dauer.
- (3) Die Messstrategie muss den Bedingungen am Arbeitsplatz, insbesondere der zu erwartenden Expositionshöhe, angepasst werden, um den unterschiedlichen Expositionssituationen Rechnung zu tragen.
- (4) Es ist nicht immer notwendig, alle relevanten Stoffe (siehe Abschnitt 4.3 Absatz 2) messtechnisch zu erfassen, sondern man kann sich auf eine repräsentative Auswahl oder auf Leitkomponenten beschränken. Ebenso hat sich für messtechnische Analogiebetrachtungen die Verwendung von Surrogaten und Tracern bewährt. Kriterien für die Auswahl der messtechnisch zu bestimmenden Stoffe sind z. B. das Freisetzungsverhalten, die Stoffmengen, die gefährlichen Eigenschaften oder die Gefährdungszahl [11].

A2.2 Messaufgaben

A2.2.1 Arbeitsplatzmessungen

- (1) Arbeitsplatzmessungen liefern als Messergebnis die zeitlich gewichtete mittlere Konzentration eines Gefahrstoffs in der Luft im Arbeitsbereich als Schichtmittelwert oder als Kurzzeitwert gemäß Kurzzeitwertkonzept sowie Messwerte für die tätigkeitsbezogene Exposition.
- (2) Das Ziel von Arbeitsplatzmessungen ist die quantitative Ermittlung der Exposition von Beschäftigten bei den betrachteten Tätigkeiten im Arbeitsbereich. Gelegentlich können zuvor auch qualitative Ermittlungen der Exposition erforderlich sein, wenn z. B. Informationen über auftretende Stoffe fehlen. Die Ergebnisse von Arbeitsplatzmessungen müssen die Exposition repräsentativ beschreiben.
- (3) Die eingesetzten Messverfahren müssen die Anforderungen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3.1 erfüllen.

A2.2.2 Kontrollmessungen zur Befundsicherung

- (1) Kontrollmessungen sind Arbeitsplatzmessungen unter den im Befund festgelegten Bedingungen.
- (2) Ergibt die Beurteilung der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessung eine Einhaltung des Beurteilungsmaßstabs und werden zur Befundsicherung Kontrollmessungen empfohlen, sind diese in angemessenen Zeitabständen durchzuführen. Die Messungen sind in kürzeren Abständen vorzunehmen, je näher die gemessene Konzentration am Beurteilungsmaßstab liegt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: In der Praxis bewährte Zeitabstände für Kontrollmessungen

Halbjährlich	jährlich
$\frac{1}{4} < \text{Stoffindex/Bewertungsindex} \leq 1$	$\text{Stoffindex/Bewertungsindex} \leq \frac{1}{4}$
$\text{AK} < \text{Messergebnis} \leq \text{TK}$	$\text{Messergebnis} \leq \text{AK}$

(3) Liegen bei unveränderten relevanten Randbedingungen für Stoffe mit AGW die Stoffindizes bzw. der Bewertungsindex

1. unterhalb 0,1, kann der Zeitabstand zwischen den Kontrollmessungen auf bis zu drei Jahre ausgedehnt oder in begründeten Fällen auf weitere Kontrollmessungen verzichtet werden,
2. bei drei aufeinanderfolgenden Messungen im Rahmen des Kontrollmessplans unterhalb 0,25, kann auf weitere Kontrollmessungen verzichtet werden.

(4) Bei krebserzeugenden Stoffen kann bei drei aufeinander folgenden Messungen im Rahmen des Kontrollmessplans auf weitere Kontrollmessungen verzichtet werden, wenn die Messergebnisse unter 0,25 der Akzeptanzkonzentration liegen.

(5) Liegen die Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen in vergleichbarer Höhe wie die Ermittlungsergebnisse zur Hintergrundkonzentration⁴, kann auf weitere Kontrollmessungen verzichtet werden.

(6) Mit Ausstieg aus dem Kontrollmessplan ist festzulegen, wie die weitere Befundsicherung durchzuführen ist.

(7) Die eingesetzten Messverfahren müssen die Anforderungen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3.1 erfüllen.

A2.2.3 Messungen für den ungünstigen Fall (reasonable worst case)

(1) Reasonable worst case-Messungen werden durchgeführt, wenn in Folge besonderer Randbedingungen eine höhere inhalative Exposition als üblich zu erwarten ist (z. B. stark staubende Stoffe, hoch flüchtige Stoffe, höhere Einsatzkonzentration, besondere klimatische Bedingungen, schlechte Lüftungsbedingungen, Auslastung höher als üblich, großer Materialverbrauch, kurze Taktzeiten, ungünstige ergonomische Situation). Wird unter diesen Bedingungen eine Einhaltung des Beurteilungsmaßstabes nachgewiesen, kann davon ausgegangen werden, dass dies auch unter üblichen Bedingungen zutrifft.

⁴ Die Hintergrundkonzentration ist ein vorgefundener Standortfaktor und ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung als Konzentration in der Umgebungsluft zu verstehen. Sie kann vom Unternehmen nicht beeinflusst werden und sowohl örtlich als auch zeitlich variieren. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung kann die Hintergrundkonzentration vom Arbeitgeber ermittelt und berücksichtigt werden. Messungen haben nach den Kriterien der TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ oder vergleichbarer Verfahren zu erfolgen. Bei der Wahl des Probenahmeortes muss sichergestellt sein, dass das Messergebnis nicht durch Emissionen des Unternehmens oder der Unternehmen, wenn verschiedene Arbeitgeber zusammenarbeiten (z. B. Baustellen), beeinflusst wird. Die Hintergrundkonzentration kann durch eigene Messungen oder einschlägige Informationsquellen ermittelt werden (z. B. Informationen aus Umweltmessnetzen).

(2) Die eingesetzten Messverfahren müssen die Anforderungen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3.1 erfüllen.

A2.2.4 Messungen in der Nähe einer Emissionsquelle

(1) Messungen in der Nähe einer Emissionsquelle können Informationen über Emissionsraten von Quellen liefern, die z. B. bei Berechnungsverfahren für die Exposition benötigt werden. Sie geben auch Hinweise darauf, ob bestimmte Stoffe prozessbedingt entstehen oder freigesetzt werden.

(2) Die eingesetzten Messverfahren müssen die Anforderungen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3.1 erfüllen.

A2.2.5 Sondermessungen

(1) Bei Messungen aus besonderem Anlass, z. B. im Rahmen von Ermittlungen zu Berufskrankheitenverfahren, epidemiologischen Untersuchungen oder zur Erstellung von Handlungsempfehlungen (z. B. VSK gemäß TRGS 420, EGU [6], Handlungsanleitungen zur guten Arbeitspraxis) wird empfohlen, entsprechend dieser TRGS zu verfahren.

(2) Die eingesetzten Messverfahren müssen die Anforderungen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3.1 erfüllen.

A2.2.6 Dauerüberwachung

(1) Eine Dauerüberwachung (siehe Anhang 4) kann eingesetzt werden, wenn die Messeinrichtungen und das Messkonzept gemäß der speziellen Messaufgabe so ausgelegt sind, dass sie eine Expositionsbeurteilung ermöglichen und die Messergebnisse aufgezeichnet werden. Die Eignung ist im Rahmen der Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition nachzuweisen. Hierbei ist auch die Einhaltung der Kurzzeitwertanforderungen zu beachten.

(2) Eine Dauerüberwachung wird empfohlen, wenn z. B. akute Gefährdungen oder besonders hohe Schwankungen der Exposition nicht auszuschließen sind und durch Alarmierung Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten ausgelöst werden müssen.

A2.2.7 Übersichtsmessungen (orientierende Messungen)

Übersichtsmessungen liefern erste Informationen über die Höhe der Exposition und dienen als Entscheidungsgrundlage für weitere Schritte. Übersichtsmessungen der zeitlichen oder räumlichen Konzentrationsverteilung liefern u. a. Informationen

1. zu relevanten Gefahrstoffen,
2. zu Orten und Zeiten erhöhter Exposition,
3. zur Dauer und Anzahl der Probenahmen künftiger Arbeitsplatzmessungen,
4. zur Intensität von Emissionsquellen oder
5. zur Wirksamkeit von Lüftungs- oder anderer technischer Schutzmaßnahmen.

A2.3 Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen

A2.3.1 Anforderungen an Messverfahren

(1) Das Messverfahren muss für den zu messenden Stoff, seinen Beurteilungsmaßstab, die zu erwartende Konzentration und für die Randbedingungen geeignet sein. Steht kein geeignetes Messverfahren zur Verfügung, muss zumindest ein bedingt geeignetes Messverfahren verwendet werden. Das Verfahren muss den Messwert in der durch den Beurteilungsmaßstab vorgegebenen Dimension direkt oder indirekt (z. B. durch Umrechnung) liefern.

(2) Ein Messverfahren gilt als geeignet, wenn es die allgemeinen Leistungsanforderungen gemäß Tabelle 5 Zeile 1 erfüllt. Nähere Information findet sich z. B. in DIN EN 482 [12].

(3) Ein Messverfahren gilt als bedingt geeignet, wenn es zumindest die in Tabelle 5 Zeile 2 genannten Anforderungen erfüllt.

Tabelle 5: Anforderungen für Messverfahren zur Überwachung von Beurteilungsmaßstäben (BM)

	Eignung	Bedingung für die Bestimmungsgrenze (BG)	Mindestmessbereich	Relative erweiterte Messunsicherheit*
1	geeignet für die Überwachung des BM	$BG \leq 0,1 \text{ BM}$	0,1 bis 2 BM	0,1 bis 0,5 BM: $\leq 50 \%$ >0,5 BM bis 2 BM: $\leq 30 \%$
2	bedingt geeignet für die Überwachung des BM	$0,1 \text{ BM} < BG < \text{BM}$	BG bis 2 BM	BG bis 0,5 BM: $\leq 50 \%$ >0,5 BM bis 2 BM: $\leq 30 \%$

*Für Gefahrstoffe, die als Mischung von Partikel und Dampf vorliegen, gilt im gesamten Mindestmessbereich eine relative erweiterte Messunsicherheit von 50 %.

(4) Abweichend von Absatz 2 und 3 gelten für Messverfahren zur Überwachung von krebs erzeugenden Stoffen der Kategorien 1A oder 1B, für die Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen bekannt gegeben worden sind, die in Tabelle 6 genannten Anforderungen.

Tabelle 6: Anforderungen für Messverfahren zur Überwachung von Akzeptanzkonzentration (AK) und Toleranzkonzentrationen (TK)

	Eignung	Bedingung für die Bestimmungsgrenze (BG)	Mindestmessbereich	Relative erweiterte Messunsicherheit*
1	geeignet für die Überwachung der AK und der TK	$BG \leq 0,2 \text{ AK}$	0,2 AK bis 2 TK	0,2 AK bis AK: $\leq 50 \%$ >AK bis 2 TK: $\leq 30 \%$
2a	geeignet für die Überwachung der AK	$BG \leq 0,2 \text{ AK}$	0,2 AK bis 2 AK	0,2 AK bis AK: $\leq 50 \%$ >AK bis 2 AK: $\leq 30 \%$
2b	geeignet für die Überwachung der TK	$BG \leq \text{AK}$	AK bis 2 TK	AK bis 0,5 TK: $\leq 50 \%$ >0,5 TK bis 2 TK: $\leq 30 \%$

3a	bedingt geeignet für die Überwachung der AK	$0,2 \text{ AK} < \text{BG} \leq \text{AK}$	BG bis 2 AK	$\leq 50 \%$
3b	bedingt geeignet für die Überwachung der TK	$\text{AK} < \text{BG} \leq \text{TK}$	BG bis 2 TK	$\leq 50 \%$

*Für Gefahrstoffe, die als Mischung von Partikel und Dampf vorliegen, gilt im gesamten Mindestmessbereich eine relative erweiterte Messunsicherheit von 50 %.

(5) Die Eignung eines Messverfahrens ist zu prüfen. Bei der Prüfung von Messverfahren sind die Anforderungen der einschlägigen Normen, insbesondere der DIN EN 482 [12], für Gase und Dämpfe der DIN EN ISO 22065 [13] oder DIN EN ISO 23320 [14] sowie für Metalle der DIN EN ISO 21832⁵ [15] zu erfüllen. Sollte ein Stoff gleichzeitig als Partikel und als Dampf⁶ vorliegen können, sind darüber hinaus die Anforderungen nach ISO DIS 23861 [16] zu berücksichtigen. Als Verfahrenskenngröße ist die Bestimmungsgrenze bei erstmaliger Anwendung in Anlehnung an DIN 32645 [17] zu bestimmen und in festgelegten Abständen zu überprüfen.

(6) Die Richtigkeit des Messverfahrens soll durch qualitätssichernde Maßnahmen, wie z. B. Referenzmaterialien, Ringversuche, Prüfgase oder Vergleichsmessungen mit geeigneten Messverfahren sichergestellt werden.

(7) Qualitätssichernde Maßnahmen sind durchzuführen und zu dokumentieren, z. B. Kontrolle von Blindwerten, Kontrolle der Reagenzienreinheit, Führen von Regelkarten.

(8) Da häufig die analytische Bestimmung zeitlich getrennt von der Probenahme erfolgt, ist sicherzustellen, dass Art und Dauer des Transports und der Lagerung der Probe so ausgeführt werden, dass ihr physikalischer und chemischer Zustand nicht verändert wird. Kann dieses nicht ausgeschlossen werden, wird das Mitführen von Blindproben („field blanks“) empfohlen. Diese sind mit Ausnahme einer Beprobung wie „echte“ Proben zu behandeln.

(9) Es ist zu prüfen, ob das Ergebnis eines Messverfahrens durch andere Stoffe oder die Umgebungsbedingungen beeinflusst wird. Im Falle nicht korrigierbarer, messwerterhöhender Störeinflüsse ist der volle Messwert heranzuziehen. Das Ergebnis ist entsprechend kenntlich zu machen. Im Falle nicht korrigierbarer, messwerterniedrigender Störeinflüsse darf das Messverfahren nicht eingesetzt werden.

(10) Die eingesetzte gerätetechnische Ausstattung muss für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet sein. Besonderheiten der Probenahme, wie z. B. Messungen in explosionsgefährdeten Bereichen oder komplexe Messaufgaben, sind bei der Auswahl zu berücksichtigen. Vorzugsweise sind Geräte einzusetzen, deren Übereinstimmung mit den einschlägigen Normen nachgewiesen ist, z. B. DIN EN 481 [18], DIN EN 482 [12], DIN EN ISO 17621 [19], DIN EN ISO 13137 [20], DIN EN 45544 [21], DIN 33899 [22].

⁵ DIN EN ISO 21832 [15] enthält in Anhang C3.4 „Uncertainty for aerosol samplers“ Zahlenangaben zu Messunsicherheitsanteilen der für die Probenahme von alveolengängigen und einatembarer Partikel eingesetzten Systeme.

⁶ Stoffe, die als Mischung aus Partikel und Dampf auftreten können, werden in der TRGS 900 mit der Bemerkung 11 und in der TRGS 910 mit der Bemerkung 6 gekennzeichnet.

(11) Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen werden durch die Arbeitsgruppe „Luftanalysen“ der ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) [23]⁷, durch die Arbeitsgruppe Analytik im Sachgebiet Gefahrstoffe der DGUV [24] und das IFA – Institut für Arbeitsschutz [25] veröffentlicht.

(12) Eine Liste empfohlener Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen von Stoffen mit verbindlichem Beurteilungsmaßstab wird vom AGS veröffentlicht [26]. Weitere Messverfahren enthält z. B. die Datenbank GESTIS - Analysenverfahren für chemische Substanzen [27].

A2.3.2 Anforderungen an die Messung von Kurzzeitwerten

(1) Die kurzzeitigen Expositionen sind nach Höhe, Dauer und Häufigkeit über den Verlauf einer Schicht zu ermitteln, wenn relevante Konzentrationsschwankungen nicht auszuschließen sind.

(2) Grundsätzlich soll zur Gewährleistung einer einheitlichen Vorgehensweise die Überwachung von Kurzzeitwerten (KZW) durch die Bestimmung des 15-Minuten-Mittelwertes erfolgen. Das gilt auch für Stoffe ohne einen Beurteilungsmaßstab.

(3) Bei Stoffen, für die ein Momentanwert festgelegt wurde, der zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf ($=x=$), soll nach den Vorgaben der TRGS 900 eine möglichst kurze Mittelungsdauer entsprechend den messtechnischen Möglichkeiten gewählt werden. Die Mittelungsdauer soll jedoch nicht unter einer Minute betragen. Grundsätzlich ist dabei sicherzustellen, dass auch für die kürzest mögliche Mittelungsdauer alle Qualitätsanforderungen dieser TRGS erfüllt sind.

(4) Für die messtechnische Ermittlung der KZW kommen in vielen Fällen direktanzeigende Geräte zum Einsatz. Sie erlauben insbesondere die Aufnahme von zeitlichen Expositionen, aus denen dann mit geeigneten rechnerischen Verfahren die einschlägigen Kurzzeitexpositionen ermittelt werden können [28].

(5) Messverfahren zur Messung von KZW müssen eine erweiterte Messunsicherheit von max. 50 % und einen Mindestmessbereich von 0,5 bis 2 KZW aufweisen. Dies entspricht auch der Forderung aus z.B. DIN EN 482 [12].

A2.4 Anforderungen an die Durchführung einer Messung

A2.4.1 Planung einer Messung

(1) Die Grundsätze der Messplanung und der Messstrategie müssen unter Beachtung dieser TRGS dokumentiert werden. Dazu gehören u. a. Hinweise zur Auswahl der Gefahrstoffe, der anzuwendenden Messverfahren, Festlegung des geeigneten Messzeitraums, der Messorte, Dauer der Probenahmen, Berücksichtigung von Expositionsspitzen, Querempfindlichkeiten, Emissionen aus benachbarten Arbeitsbereichen, ubiquitäre Belastungen. Die Messstrategie muss gewährleisten, dass repräsentative Messergebnisse für eine Beurteilung der Exposition der Beschäftigten erhalten werden.

(2) Für Messungen sollten empfohlene Messverfahren eingesetzt werden. Werden andere Messverfahren eingesetzt, müssen diese in der Eignung einem empfohlenen Messverfahren

⁷ Die DFG MAK-Collection, Begründungen und Methoden wurde bis einschließlich Vol. 4 unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527600418> veröffentlicht. Veröffentlichungen ab Vol. 5 (01.01.2020) erscheinen unter [23].

entsprechen (siehe Anhang 2 Abschnitt 3.1 Absatz 3 und 4). Etwaige Abweichungen sind zu begründen und entsprechend zu dokumentieren.

(3) Probenträger und Proben sind in geeigneter Weise (z. B. gekühlt, dunkel, erschütterungsfrei) und kontaminationsfrei zu transportieren.

(4) Mit allen beteiligten Stellen muss im Vorfeld einer Messung eine terminliche Planung erfolgen, damit z. B. bei Proben, die umgehend nach der Probenahme untersucht werden müssen, die maximale Lagerzeit nicht überschritten wird.

A2.4.2 Vorbereitung und Durchführung einer Messung

(1) Geräte, Probenträger und Verbrauchsmaterialien für die Messung müssen zusammengestellt werden. Für die Geräte muss eine Dokumentation bezüglich ihrer Wartung und Kalibrierung vorliegen. Es muss sichergestellt werden, dass Proben jederzeit eindeutig gekennzeichnet sind.

(2) Zu jeder Messung ist ein Probenahmeprotokoll zu führen, in dem u. a. die Probenbezeichnung, Zeiten für Beginn und Ende der Probenahme, die Überprüfung des Volumens, der Probenahmeort und Auffälligkeiten festgehalten werden. Weiterhin ist eine Dokumentation zu erstellen, die alle für das Ergebnis der Messung relevanten Randbedingungen gemäß Abschnitt 4.2 dieser TRGS enthält.

(3) Die Funktionstüchtigkeit der Geräte ist vor und nach der Messung zu überprüfen und zu dokumentieren. Abweichungen von Sollvorgaben und ergriffene Maßnahmen müssen dokumentiert werden.

A2.4.3 Messort, Messzeit und Mittelungsdauer

(1) Die gewählten Messorte und -zeiten sollen geeignet sein, die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Exposition repräsentativ abzubilden. Sie sind das Ergebnis der Festlegung des Arbeitsbereiches und der Tätigkeiten der Beschäftigten mit Gefahrstoffen gemäß Abschnitt 0 dieser TRGS.

(2) Für die Messung sind festzulegen:

1. der Messort,
2. der Zeitpunkt und die Dauer der Probenahme bzw. der Messung sowie
3. die zeitliche Abfolge der Probenahmen bzw. Messungen sowie die Zeitspanne dazwischen.

Die während der Messung herrschenden Messparameter sind zu dokumentieren. Kommen während einer Schicht mehrere voneinander unterscheidbare Expositionszeiträume vor, sind für diese jeweils einzeln die mittleren Konzentrationshöhen der untersuchten Gefahrstoffe zu ermitteln.

(3) Grundsätzlich sollen Arbeitsplatzmessungen personenbezogen mit an der Person getragenen oder mobil im Atembereich der Beschäftigten mitgeführten Systemen erfolgen.

(4) Arbeitsplatzmessungen können auch stationär durchgeführt werden, wenn sie eine Ermittlung der Exposition ermöglichen. Sie sollen in Atemhöhe und in unmittelbarer Nähe der Beschäftigten erfolgen. Die Entscheidung für stationäre Messungen ist zu begründen.

(5) Zur Feststellung des Schichtmittelwerts ist die messtechnische Mittelung über die gesamte Expositionszeit während einer Schicht besonders geeignet. Eine kürzere messtechnische Ermittlung kann erfolgen bei

1. gleichförmiger Exposition über die gesamte Schicht oder wenn

2. der gewählte Zeitraum die Exposition während der Schicht repräsentativ beschreibt.

Die Mindestmessdauer beträgt zwei Stunden und kann sich aus mehreren einzelnen Messungen zusammensetzen.

Anhang 3: Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden der Exposition

A3.1 Einleitung

- (1) Unter nichtmesstechnischen Ermittlungsmethoden werden insbesondere
 1. Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter oder gleichwertige Dokumente und Berichte einschließlich Ermittlungsergebnisse vergleichbarer Arbeitsplätze oder Tätigkeiten,
 2. Control Banding-Ansätze und Expositionsmodelle sowie
 3. Rechenmodelle
verstanden.
- (2) Die Anforderungen der TRGS 400 Anhang 2 sind von allen nichtmesstechnischen Ermittlungsmethoden sinngemäß zu erfüllen.
- (3) Bevorzugt sind qualitätsgesicherte nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden einzusetzen.
- (4) Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden sind qualitätsgesichert, wenn sie
 1. von anerkannten Gremien geprüft und verabschiedet wurden, z. B.
 - a) Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS),
 - b) Projektgruppe Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger,
 - c) Arbeitskreis der Ländermessstellen für chemischen Arbeitsschutz (ALMA)/Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) oder
 2. von der Europäische Chemikalienagentur (ECHA) oder anderen anerkannten Stellen (z. B. ECETOC⁸, TNO⁹) veröffentlicht wurden,
 3. nach Validierungsstudien in peer-reviewed Fachzeitschriften veröffentlicht wurden, wie z. B. ETEAM [29] oder Spinazzé et al. [30],
 4. auf der Grundlage von Arbeitsplatzmessungen gemäß dieser TRGS oder Gefährdungsbeurteilungen nach TRGS 400 für vergleichbare Arbeitsbereiche und Tätigkeiten oder auf vergleichbaren Vorgehensweisen beruhen.
- (5) Zu qualitätsgesicherten nichtmesstechnischen Ermittlungsmethoden gehören z. B.
 1. Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter oder gleichwertige Dokumente und Berichte, die nach den Vorgaben dieser TRGS erstellt wurden und den Anforderungen gemäß TRGS 400, Anhang 2 entsprechen,
 2. übertragbare Gefährdungsbeurteilungen vergleichbarer Arbeitsplätze oder Tätigkeiten und

⁸ ECETOC: European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals.

⁹ TNO: Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek).

3. Control Banding-Ansätze, Expositionsmodelle und Rechenmodelle, wenn sie durch unabhängige Messungen überprüft und bestätigt wurden.
- (6) Bei der Anwendung nichtmesstechnischer Ermittlungsmethoden muss der Einfluss der relevanten Randbedingungen und deren Variation auf das Ermittlungsergebnis beurteilt und dokumentiert werden.
- (7) Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden müssen als Ergebnis einen Konzentrationswert oder einen Konzentrationsbereich für den betrachteten Arbeitsbereich oder die Tätigkeit liefern, der die Höhe der Exposition angibt. Auf der Grundlage dieses Ergebnisses muss ein Befund gemäß Abschnitt 5.3.4 dieser TRGS ableitbar sein.

A3.2 Allgemeine Anforderungen an nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden und deren Anwendung

- (1) Die nichtmesstechnische Ermittlungsmethode muss auf der Grundlage von Arbeitsplatzmessungen oder vergleichbaren Messungen entwickelt worden sein. Dieses muss in angemessener Form dokumentiert sein. Dazu gehören u. a.:
 1. Angaben zum Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen,
 2. Angaben zu den zugrundeliegenden Annahmen,
 3. Angaben zu den zugrundeliegenden Messdaten,
 4. Angaben zur Herkunft der nichtmesstechnischen Ermittlungsmethode,
 5. ein Leitfaden zur Vorgehensweise bzw. Bedienungshandbuch, insbesondere mit Angaben zu den zu erhebenden Parametern und Randbedingungen.
- (2) Die nichtmesstechnische Ermittlungsmethode darf persönliche Schutzausrüstung bei der Ermittlung der Expositionshöhe nicht berücksichtigen.
- (3) Die nichtmesstechnische Ermittlungsmethode ist so zu beschreiben, dass ihre Ergebnisse nachvollzogen und auf Plausibilität geprüft werden können.
- (4) Nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden müssen Informationen bezüglich der Anwendbarkeit sowohl für kurzzeitige (Kurzzeitwerte) als auch länger andauernde Expositionen (Schichtmittelwerte) enthalten.
- (5) Bei Anwendung einer nichtmesstechnischen Ermittlungsmethode ist zu prüfen, ob diese für den zu beurteilenden Arbeitsbereich oder die zu beurteilende Tätigkeit einsetzbar ist. Einschränkungen bezüglich der Anwendbarkeit (z. B. Tätigkeiten, Stoffe, Aggregatzustand, klimatische Bedingungen) sind zu benennen, sofern diese bekannt sind.¹⁰
- (6) Bei Anwendung müssen die für die Beschreibung des Arbeitsbereichs oder der Tätigkeit erforderlichen grundlegenden Angaben gemäß Abschnitt 4.2 und vor Ort die für die Verwendung der nichtmesstechnischen Ermittlungsmethode benötigten Parameter und Randbedingungen erhoben und dokumentiert werden.

¹⁰ Eine Hilfestellung bei der Auswahl und Anwendung einer nichtmesstechnischen Ermittlungsmethode gibt die Veröffentlichung „Auswahl und Anwendung nichtmesstechnischer Methoden zur Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition“ [31].

A3.3 Personelle Anforderungen

(1) Für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition mittels nichtmesstechnischer Ermittlungsmethoden sind gefahrstoffbezogene und ermittlungsmethodische Kenntnisse in Verbindung mit einer einschlägigen Berufsausbildung oder -erfahrung [31] notwendig. Dies beinhaltet je nach angewandeter Ermittlungsmethode angemessene Kenntnisse zu:

1. physikalisch-chemischen Eigenschaften von Gefahrstoffen,
2. Gesundheitsgefahren bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen,
3. den zu beurteilenden Arbeitsplätzen und Tätigkeiten,
4. den erforderlichen Schutzmaßnahmen,
5. den im Gefahrstoffrecht geltenden Gesetzen, Verordnungen, Technischen Regeln,
6. dem Regelwerk der Unfallversicherungsträger,
7. der Interpretation statistischer Parameter,
8. dem statistischen und ggf. mathematischen Hintergrund.

(2) Der Anwender muss sich über aktuelle Entwicklungen im Gefahrstoffrecht und den aktuellen Stand der jeweiligen Nichtmesstechnischen Ermittlungsmethode informieren. Je nach angewandeter Ermittlungsmethode kann dieses z. B. durch interne oder externe Fortbildungsmaßnahmen erfolgen.

A3.4 Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter oder gleichwertige Dokumente und Berichte

(1) Handlungsempfehlungen oder Hilfestellungen Dritter oder gleichwertige Dokumente und Berichte gemäß TRGS 400 dienen der Übertragung von Ermittlungsergebnissen und Schutzmaßnahmen auf andere vergleichbare Arbeitsbereiche oder Tätigkeiten.

(2) Ermittlungsergebnisse von anderen Arbeitsbereichen oder Tätigkeiten können auf die zu beurteilenden Arbeitsbereiche oder Tätigkeiten übertragen werden, sofern die Expositionsbedingungen vergleichbar sind.

(3) Für die Übertragungen von Ermittlungsergebnissen besonders geeignet sind Ermittlungsergebnisse unter ungünstigen Bedingungen (reasonable worst case).

A3.5 Control Banding-Ansätze und Expositionsmodelle

(1) Control Banding-Ansätze und Expositionsmodelle dienen der quantitativen, semiquantitativen oder qualitativen Expositionsermittlung und der Ableitung geeigneter Schutzmaßnahmen. Sie beruhen bei der Beurteilung der Tätigkeiten im Allgemeinen auf folgenden Parametern:

1. den toxikologischen Eigenschaften der Stoffe,
2. den eingesetzten Mengen der Stoffe,
3. den die Freisetzung bestimmenden Eigenschaften der Stoffe, z. B. Staubungsverhalten, Dampfdruck oder Siedepunkt,

4. der durch die Tätigkeit bedingten Freisetzung, z. B. Sprühanwendung, Streichen, Fräsen, Sägen,
 5. den technischen und organisatorischen Randbedingungen, z. B. vorhandene Schutzmaßnahmen.
- (2) Control Banding-Ansätze und Expositionsmodelle sind z. B.
1. ART (Advanced REACH-Tool) [32],
 2. ECETOC TRA [33],
 3. EMKG-Expo-Tool [7],
 4. Stoffenmanager® / GESTIS-Stoffenmanager® [34].
- (3) Bei Verwendung von Control Banding-Ansätzen und Expositionsmodellen dürfen nur technische und organisatorische Maßnahmen berücksichtigt werden. Die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung darf in diese Betrachtung nicht einbezogen werden.
- (4) Der Anwendungsbereich und die Grenzen des verwendeten Control Banding-Ansatzes oder Expositionsmodells müssen definiert sein.
- (5) Der Anwender hat die Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen. Im Rahmen dieser Plausibilitätsprüfung kann es hilfreich sein, Parameter zu variieren, um die Zuverlässigkeit der abgeleiteten Aussagen zu beurteilen. Das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung ist zu dokumentieren.
- (6) Wenn gleichzeitig Messungen und eine nichtmesstechnische Ermittlung mittels Control Banding-Ansätzen oder Expositionsmodellen durchgeführt werden und beides zum selben Befund führt, so ist dieser zu übernehmen.
- (7) Wenn gleichzeitig Messungen und eine nichtmesstechnische Ermittlung mittels Control Banding-Ansätzen oder Expositionsmodellen durchgeführt werden und zu unterschiedlichen Befunden führen, so ist die Entscheidung für die Wahl des Befunds im Bericht zu begründen.

A3.6 Rechenmodelle

- (1) Rechenmodelle dienen zur orientierenden Abschätzung der Exposition und zur Festlegung der weiteren Vorgehensweise. Sie beruhen in der Regel auf Annahmen zur freigesetzten Stoffmenge und zum Luftwechsel sowie auf Stoffeigenschaften (z. B. Staubungsverhalten, Dampfdruck, Siedepunkt).
- (2) Konzentrationen lassen sich rechnerisch abschätzen, wenn die relevanten Randbedingungen durch ein geeignetes Modell miteinander verknüpft werden können und diese für den konkreten Anwendungsfall bekannt und quantifizierbar sind.
- (3) Die Ergebnisse von Modellrechnungen müssen plausibel sein. Bei jeder Anwendung ist zu begründen, warum die Modellrechnung im konkreten Fall geeignet ist. Zu beschreiben und quantitativ darzustellen sind mindestens
 1. die Gefahrstoffemission,
 2. die arbeitsorganisatorischen Rahmenbedingungen und
 3. ggf. die Ausbreitung und Verteilung der Gefahrstoffe im Raum, siehe auch A 3.2
- (4) Wenn gleichzeitig Messungen und eine nichtmesstechnische Ermittlung mittels Rechenmodellen durchgeführt werden und beides zum selben Befund führt, ist dieser zu übernehmen.

(5) Wenn gleichzeitig Messungen und eine nichtmesstechnische Ermittlung mittels Rechenmodellen durchgeführt werden und zu unterschiedlichen Befunden führen, so ist die Entscheidung für die Wahl des Befunds im Bericht zu begründen.

A3.7 Befund und Berichterstattung bei Anwendung nichtmesstechnischer Methoden

- (1) Die Befunderhebung erfolgt gemäß Abschnitt 5.3.4 dieser TRGS.
- (2) Bestehen Zweifel an der Plausibilität des Ergebnisses der nichtmesstechnischen Ermittlung, ist ein Befund nicht ableitbar. In diesem Fall ist die Ermittlung mit einer anderen nichtmesstechnischen oder messtechnischen Methode erneut durchzuführen.
- (3) Der Bericht muss Folgendes enthalten:
 1. Titel,
 2. Ermittlungsaufgabe,
 3. Anlass der Ermittlung,
 4. Ermittlende Stelle (Name, Anschrift),
 5. Auftraggeber (Name, Anschrift),
 6. begleitende Informationen zur Ermittlung, z. B. Vorbesprechung (Teilnehmer, Datum), Bearbeiter der Ermittlungsaufgabe, Ansprechpartner, Vorgangsnummer und Datum,
 7. Festlegung des Arbeitsbereichs einschließlich seiner räumlichen und organisatorischen Beschreibung (Firma, Anschrift, Betriebsort),
 8. Beschreibung der Tätigkeiten mit Gefahrstoffen,
 9. Festlegung und Begründung der Auswahl der Gefahrstoffe, deren Konzentrationen zu ermitteln sind,
 10. Art und Menge sowie relevante Einstufungen und gefährliche Eigenschaften der Gefahrstoffe sowie Beurteilungsmaßstäbe,
 11. relevante Randbedingungen mit Datum der Erhebung (Abschnitt 4.2 Absatz 2),
 12. Angaben zum eingesetzten nichtmesstechnischen Ermittlungsverfahren,
 13. Auflistung der aus den relevanten Randbedingungen abgeleiteten Parameter, die für die Ermittlung verwendet wurden,
 14. Ermittlungsergebnisse,
 15. Befund mit Begründung (Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen),
 16. Hinweise zur Befundsicherung,
 17. Ausstellungsdatum des Berichts,
 18. Unterschrift des Berichterstellenden,
 19. eindeutige Kennzeichnung auf jeder Seite durch u. a. Berichtsnummer oder Vergleichbares, Seitenzahl, Gesamtseitenzahl,
 20. Verzeichnis der verwendeten technischen Regeln, Literatur, Vorgängerberichte.

- (4) Wird zur Ermittlung eine Handlungsempfehlung nach TRGS 400, Abschnitt 6.1 Absatz 5 angewendet, ist eine vereinfachte Berichterstattung nach TRGS 400, Abschnitt 8 Absatz 7 mit Verweis auf die Handlungsempfehlung möglich.
- (5) Es ist empfehlenswert, die Befundsicherung bei Verwendung nichtmesstechnischer Methoden im Jahresabstand durchzuführen. Dazu ist es erforderlich, dass der Beurteiler vor Ort die weitere Gültigkeit aller relevanten Randbedingungen bestätigt und dokumentiert.

Anhang 4: Befundsicherung mit Hilfe kontinuierlich messender Messeinrichtungen

A4.1 Allgemeines

Für die Wirksamkeitsüberprüfung von Schutzmaßnahmen im Rahmen der Befundsicherung besteht auch die Möglichkeit, eine Dauerüberwachung einzusetzen, bei der durch Alarmierung und dadurch ausgelöste Maßnahmen sichergestellt ist, dass zu keiner Zeit der Schichtmittel- oder Kurzzeitwert überschritten wird.

A4.2 Anforderungen an die Dauerüberwachung

- (1) Die Dauerüberwachung wird mit Messeinrichtungen erreicht, die kontinuierlich oder quasikontinuierlich die Konzentration der zu beurteilenden Gefahrstoffe in der Luft im Arbeitsbereich erfassen. Eine Dauerüberwachung darf nur eingesetzt werden, wenn ihre Anwendbarkeit durch Vergleichsmessungen mit geeigneten Messverfahren abgesichert ist.
- (2) Die Messeinrichtungen müssen die Anforderungen der DIN EN 45544, Teil 1 und 2 (Gase und Dämpfe) [35] [21] oder DIN 33899 (Partikel) [22] erfüllen. Weitere Informationen zur Wirksamkeitsüberprüfung von Schutzmaßnahmen durch eine Dauerüberwachung enthalten die DGUV-Informationen DGUV-I 213-056 [36] und DGUV-I 213-057 [37]. Ergänzend hierzu sind die Schutzmaßnahmen sowie die daraus resultierende Höhe der Alarmschwellen für Vor- und Hauptalarm in der Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Dabei sind Verzögerungen, z. B. durch Gastransport, durch Einstellzeit des Gaswarngeräts und insbesondere durch das Wirksamwerden der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.
- (3) Die Zeiten und Häufigkeiten der Alarmauslösungen sind zu dokumentieren. Bei wiederholter Alarmauslösung sind die Schutzmaßnahmen zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Dokumentation sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu bewerten.

Anhang 5: Arbeitsplatzbeispiele und weitere Hinweise zur Anwendung der TRGS 402

(1) In der Praxis gibt es verschiedene Wege, um die Exposition von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen zu ermitteln und zu beurteilen. Dieser Anhang dient als Unterstützung.

(2) Die nachfolgenden Methoden können verwendet werden, um die inhalative Exposition zu beurteilen:

1. Arbeitsplatzmessungen,
2. Messungen für den ungünstigen Fall (reasonable worst case),
3. Messung technischer Parameter, z. B. Luftgeschwindigkeit, Luftaustauschrate,
4. Berechnung der Exposition (unter Verwendung geeigneter Modelle),
5. Vergleich mit anderen Arbeitsplätzen im gleichen oder in anderen Unternehmen,
6. Control-Banding-Ansätze,
7. Anleitungen zur guten Arbeitspraxis für festgelegte Branchen und Tätigkeiten.

(3) Weiterführende Informationen sind für die nachfolgenden Arbeitsplatzsituationen unter <https://www.baua.de/TRGS-402-Arbeitsplatzbeispiele> zu finden,

1. Arbeitsplätze mit konstanten Bedingungen,
2. Arbeitsplätze mit verkürzter Exposition unter konstanten Bedingungen,
3. Arbeitsplätze mit gelegentlicher Exposition,
4. stationäre Arbeitsplätze mit unregelmäßiger Exposition,
5. mobile Arbeitsplätze mit unregelmäßiger Exposition,
6. Arbeitsplätze mit unvorhersehbarer, sich ständig ändernder Exposition,
7. Arbeitsplätze im Freien und
8. Arbeitsplätze unter Tage.

Literaturhinweise

- [1] Begriffsglossar zu den Regelwerken der BetrSichV, der BioStoffV und der GefStoffV, AGS, [Online]. Available: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/Glossar/pdf/Begriffsglossar.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 12 01 2022].
- [2] MAK- und BAT-Werte-Liste, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, 2021. [Online]. Available: <https://series.publisso.de/de/pgseries/overview/mak/lmbv/about>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [3] GESTIS - Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen, IFA, 2021. [Online]. Available: <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index.jsp>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [4] Informationen über Chemikalien, ECHA, [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [5] BekGS 409 "Nutzung der REACH-Informationen für den Arbeitsschutz", BAuA, 2012. [Online]. Available: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/Bekanntmachung-409.html>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [6] Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU), IFA, [Online]. Available: [https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-gefahrstoffe/empfehlungen-gefaehrdungsermittlung-der-unfallversicherungstraeger-\(egu\)/alphabetisches-verzeichnis/index.jsp](https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-gefahrstoffe/empfehlungen-gefaehrdungsermittlung-der-unfallversicherungstraeger-(egu)/alphabetisches-verzeichnis/index.jsp). [Zugriff am 12 01 2022].
- [7] Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG), BAuA, [Online]. Available: https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/EMKG/Einfaches-Massnahmenkonzept-EMKG_node.html. [Zugriff am 12 01 2022].
- [8] Staubarme Bearbeitungssysteme, BG BAU, [Online]. Available: <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/staub/staubarme-bearbeitungssysteme/>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [9] DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017*, Beuth (beuth.de).
- [10] Empfehlung für die Berücksichtigung klimatischer Bedingungen bei Arbeitsplatzmessungen, DGUV, 2019. [Online]. Available: https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2019_011.pdf. [Zugriff am 19 01 2022].
- [11] DGUV Information 213-080, „Arbeitsschutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (Merkblatt M 053 der Reihe "Gefahrstoffe)",“ DGUV, 03 2019. [Online]. Available: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv->

informationen/418/arbeitsschutzmassnahmen-bei-taetigkeiten-mit-gefahrstoffen-merkblatt-m-053-der-reihe-gefahrstoffe. [Zugriff am 12 01 2022].

- [12] DIN EN 482, *Exposition am Arbeitsplatz - Verfahren zur Bestimmung der Konzentration von chemischen Arbeitsstoffen - Grundlegende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit; Deutsche Fassung EN 482:2021*, Beuth (beuth.de).
- [13] DIN EN ISO 22065, *Luft am Arbeitsplatz - Gase und Dämpfe - Anforderungen an die Evaluierung von Messverfahren mit pumpenbetriebenen Probenahmeeinrichtungen (ISO 22065:2020); Deutsche Fassung EN ISO 22065:2020*, Beuth (beuth.de).
- [14] DIN EN ISO 23320, *Luft am Arbeitsplatz - Gase und Dämpfe - Anforderungen an die Evaluierung von Messverfahren mit Diffusionssammlern (ISO/DIS 23320:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 23320:2021*, Beuth (beuth.de).
- [15] DIN EN ISO 21832, *Luft am Arbeitsplatz - Metalle und Metalloide in luftgetragenen Partikeln - Anforderungen an die Evaluierung von Messverfahren (ISO 21832:2018); Deutsche Fassung EN ISO 21832:2020*, Beuth (beuth.de).
- [16] ISO/DIS 23861, *Luft am Arbeitsplatz - Als Mischung aus luftgetragenen Partikeln und Dampf vorliegender chemischer Arbeitsstoff - Anforderungen an die Bewertung von Messverfahren mit Sammlern*, Beuth (beuth.de), 2021.
- [17] DIN 32645, *Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung*, Beuth (beuth.de), 2008.
- [18] DIN EN 481, *Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel; Deutsche Fassung EN 481:1993*, Beuth (beuth.de).
- [19] DIN EN ISO 17621, *Arbeitsplatzatmosphäre - Kurzzeitprüfröhrchen-Messeinrichtungen - Anforderungen und Prüfverfahren (ISO 17621:2015); Deutsche Fassung EN ISO 17621:2015*, Beuth (beuth.de).
- [20] DIN EN ISO 13137, *Arbeitsplatzatmosphäre - Pumpen für die personenbezogene Probenahme von chemischen und biologischen Arbeitsstoffen - Anforderungen und Prüfverfahren (ISO/DIS 13137:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13137:2021*, Beuth (beuth.de).
- [21] 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; Deutsche Fassung*, Beuth (beuth.de), 2015.
- [22] DIN 33899, *Exposition am Arbeitsplatz - Leitfaden für die Anwendung direkt anzeigender Geräte zur Überwachung von Aerosolen, Teil 1-3*, Beuth (beuth.de), 2014.
- [23] DFG, MAK-Collection, Begründungen und Methoden, [Online]. Available: <https://series.publisso.de/de/pgseries/overview/mak/dam>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [24] Von den Unfallversicherungsträgern anerkannte Messverfahren zur Feststellung der Konzentrationen krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe in der Luft in Arbeitsbereich, AG Analytik der Deutschen Gesetzlichen

- Unfallversicherung, [Online]. Available: <https://www.bgrci.de/fachwissen-portal/start/gefährstoffe/gefährstoffanalytik/inhalte/gefährstoffmessung-zur-ueberwachung-von-grenzwerten>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [25] Messung von Gefahrstoffen – IFA-Arbeitsmappe, IFA, Hrsg., Erich Schmidt Verlag (www.esv.info).
- [26] Bewertung von Verfahren zur messtechnischen Ermittlung von Gefahrstoffen in der Luft am Arbeitsplatz, AGS, [Online]. Available: https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/Messverfahren.pdf?__blob=publicationFile&v=7. [Zugriff am 12 01 2022].
- [27] Datenbank GESTIS - Analysenverfahren für chemische Substanzen, IFA, [Online]. Available: <http://amcaw.ifa.dguv.de/>. [Zugriff am 03 08 2023].
- [28] Direktanzeigende Messgeräte: Anspruch und Wirklichkeit - ein Diskussionspapier, DGUV, 2020. [Online]. Available: https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/gefährstoffe_10_2020_direktanzeigen_de_messgeraete.pdf. [Zugriff am 19 01 2022].
- [29] Validierung von Modellen zur Einstiegsbewertung von Arbeitsplatzexpositionen (Tier 1) in der Stoffsicherheitsbeurteilung unter REACH, Institute of Occupational Medicine (IOM), Edinburgh / Fraunhofer ITEM, [Online]. Available: <https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Forschung/Forschungsprojekte/f2303.html>.
- [30] A. Spinazzé, F. Borghi, D. Campagnolo, S. Rovelli, M. Keller, G. Fanti, A. Cattaneo und D. Cavallo, „How to Obtain a Reliable Estimate of Occupational Exposure? Review and Discussion of Models' Reliability,“ *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Bd. Vol. 16, Nr. 08/02, 2019.
- [31] Auswahl und Anwendung nichtmesstechnischer Methoden zur Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition, DGUV, 2022. [Online]. Available: <https://publikationen.ifa.dguv.de/WebForm2.aspx>. [Zugriff am 15 08 2022].
- [32] Advanced Reach Tool, BAuA et al., [Online]. Available: <https://www.advancedreachtool.com/>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [33] Targeted Risk Assessment (TRA), ECETOC, [Online]. Available: <https://www.ecetoc.org/tools/tra-main/>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [34] GESTIS-Stoffenmanager, Cosanta, [Online]. Available: 12.
- [35] DIN EN 45544-1, *Arbeitsplatzatmosphäre - Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 45544-1:2015*, Beuth (beuth.de).
- [36] DGUV Information 213-056, „Gaswarneinrichtungen für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff - Einsatz und Betrieb,“ 2016. [Online]. Available: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/621/gaswarneinrichtungen-fuer-toxische-gase/daempfe-und-sauerstoff-einsatz-und-betrieb-merkblatt-t-021>. [Zugriff am 12 01 2022].

- [37] DGUV Information 213-057, „Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz - Einsatz und Betrieb,“ BG RCI, 2016. [Online]. Available: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/283/gaswarneinrichtungen-fuer-den-explosionsschutz-einsatz-und-betrieb-merkblatt-t-023-der-reihe-sich>. [Zugriff am 12 01 2022].
- [38] DGUV Test, [Online]. Available: <https://www.dguv.de/dguv-test/index.jsp>. [Zugriff am 12 01 2022].