

Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte

N. von Hahn, R. Van Gelder, Y. von Mering, D. Breuer, S. Peters

Zusammenfassung Zur Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wird neben einer gesundheitlichen Bewertung anhand toxikologisch abgeleiteter Richtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte seit 2004 auch eine vergleichende Bewertung auf der Basis statistischer Auswertungen der von den Unfallversicherungsträgern deutschlandweit ermittelten Messwerte durchgeführt. Das Messverfahren und die Messstrategie für Messungen an Innenraumarbeitsplätzen wurden über die Jahre immer weiter verfeinert. Die letzte Auswertung der Messwerte erfolgte 2011 mit der Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten. Da sich im Lauf der Jahre durch neue Substanzen und ein verändertes Nutzerverhalten das Substanzspektrum in der Innenraumluft verändert, sollten diese Werte in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Im Folgenden wird eine Auswertung der statistischen Daten über den Datenzeitraum 2011 bis 2015 den Werten des Datenzeitraums 2006 bis 2010 gegenübergestellt. Auf der Basis des jüngsten Auswertzeitraums werden aktuelle Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte abgeleitet.

Derivation of up-to-date reference values for indoor workplaces

Abstract In order for the air quality at indoor workplaces to be evaluated, a health-based assessment is conducted against guidance values determined by toxicological methods and issued by the committee responsible for indoor guidance values. Since 2004, this assessment has been supplemented by a comparative assessment based upon statistical analyses of the values measured throughout Germany by the accident insurance institutions. The measurement method and the strategy for measurements performed at indoor workplaces have been progressively refined over the years. The measured values were last analysed in 2011, when reference values for indoor workplaces were derived. Since new substances and changes in user behaviour cause changes in the spectrum of substances in the indoor air over the years, these values should be updated at regular intervals. An analysis of the statistical data for the period from 2011 to 2015 is compared below to the values for the period from 2006 to 2010. Up-to-date reference values for indoor workplaces are derived from the data for the most recent analysis period.

1 Einleitung

Seit 2006 gibt es im Anschluss an eine Studie aus den Jahren 2001 bis 2005 [1] im Messsystem Gefährdungsbeurteilung der Unfallversicherungsträger (MGU) ein einheitliches Messprogramm zur Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen. Die ursprüngliche Messstrategie basierte auf der Richtlinienreihe VDI 4300 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“ [2] und auf der Normenreihe DIN EN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ [3]. Im Lauf der Jahre wurde die Messstrategie immer den Bedürfnissen der Unfallversicherungsträger sowie all-

gemeinen neuen Entwicklungen angepasst. So wurde das betrachtete Substanzspektrum von ursprünglich 25 [1] auf mittlerweile 68 einzelkalibrierte Stoffe (flüchtige organische Verbindungen und Aldehyde) erweitert. Dabei wurden sowohl Stoffe berücksichtigt, die im Rahmen der Messtätigkeit bei den Unfallversicherungsträgern wiederholt in Proben auftraten, als auch Stoffe, für die zwischenzeitlich Richtwerte vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte [4] abgeleitet wurden.

Einen Meilenstein in der Entwicklung der Messstrategie stellen die gemeinsam von der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (heute: Ausschuss für Innenraumrichtwerte) sowie Vertretern des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) erarbeiteten „Empfehlungen zur Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen“ [5] dar. Diese Empfehlungen haben zur Folge, dass seit Ende 2015 bis voraussichtlich Ende 2018 bei den Unfallversicherungsträgern an allen betrachteten Arbeitsplätzen sowohl Messungen unter Ausgleichs- als auch unter Nutzungsbedingungen erfolgen. Im Anschluss sollen die unter Ausgleichs- und Nutzungsbedingungen ermittelten Messdaten miteinander verglichen und basierend auf den Ergebnissen die Messstrategie angepasst werden. Die Ergebnisse werden voraussichtlich ab Mitte 2019 zur Verfügung stehen.

Die auf der Basis der Messtätigkeit der Unfallversicherungsträger abgeleiteten zurzeit gültigen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte stammen aus dem Jahre 2011. Voraussetzung für eine Beurteilung der Luftqualität mittels Referenzwerten ist unter anderem deren Aktualität [6]. Daher wurden zwischenzeitlich die bis Ende 2015 in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [7] dokumentierten Messdaten, die ausschließlich unter Ausgleichsbedingungen ermittelt wurden, statistisch ausgewertet, um daraus aktuelle Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte ableiten zu können.

2 Datenerhebung

Im Rahmen der einheitlichen Messstrategie für Büroarbeitsplätze bestimmen die Unfallversicherungsträger flüchtige organische Verbindungen (VOC, volatile organic compounds) sowie Aldehyde nach MGU-Standardverfahren [8; 9]. Dabei ist zu beachten, dass die in der IFA-Arbeitsmappe beschriebenen Verfahren kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Eine Veröffentlichung der aktualisierten Fassungen ist im Laufe des Jahres 2018 zu erwarten. Über die Datenerfassung werden zusätzlich Randbedingungen der Messung, z. B. Lage des Gebäudes, Renovierung, Mobiliar, Nutzung, das Raumklima sowie die vorherrschende Lüftungssituation, erfasst.

Zur Bestimmung der Konzentrationen von VOC in der Luft am Arbeitsplatz wird zunächst ein Thermodesorptionsröh-

Dr. rer. nat. Nadja von Hahn, Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder, Dr. rer. nat. Yvonne von Mering, Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Breuer, Dr. rer. nat. Simone Peters, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Tabelle 1. Übersicht über die mit MGU-Standardverfahren erfassten Einzelstoffe.

Stoffklasse	Untersuchte Einzelstoffe
Alkane	n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, n-Hexadecan
Terpene	α -Pinen, Limonen, 3-Karen, (+)-Longifolen
Aromaten	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-Xylol, m-Xylol, p-Xylol, n-Propylbenzol, Cumol (Isopropylbenzol), 1,2,3-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, 1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen), Styrol, Naphthalin, Phenol, o-Kresol, m-Kresol, p-Kresol
Alkohole	1-Butanol, 2-Ethylhexanol, Benzylalkohol
Aldehyde	Formaldehyd, Acetaldehyd, Propanal (Propionaldehyd), Butanal (Butyraldehyd), Valeraldehyd, Hexanal, Glutaraldehyd (Glutaral), Acrolein (Acrylaldehyd), Benzaldehyd, Furfural (2-Furaldehyd)
Ester	Ethylacetat, n-Butylacetat
Ether	2-Methoxyethanol, 2-Ethoxyethanol, 2-Butoxyethanol, 2-Hexyloxyethanol, 1-Methoxy-2-propanol, 1-Ethoxypropan-2-ol, 1-tert-Butoxy-2-propanol, 2-Phenoxyethanol, 2-(2-Methoxyethoxy)ethanol (Diethylenglykolmonomethylether), 2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, 2-Ethoxyethylacetat, 2-Butoxyethylacetat, 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat, Bis(2-methoxyethyl)ether
Ketone	Butanon, 4-Methylpentan-2-on, Acetophenon
Siloxane	Hexamethylcyclotrisiloxan (D3), Octamethylcyclotetrasiloxan (D4), Decamethylcyclopentasiloxan (D5), Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)

chen ATD TENAX® TA über eine Dauer von 30 min mit einem Luftvolumenstrom von 0,066 l/min (4 l/h) beaufschlagt. Im Anschluss daran erfolgt die Aldehydprobenahme mit dem Probenträger Waters Sep-Pak XpoSure über eine Stunde mit einem Luftvolumenstrom von 1,333 l/min (80 l/h).

Die Probenahme findet stationär in einer Höhe von 1 bis 1,5 m über dem Fußboden in Atemhöhe der Beschäftigten und in einem Abstand von 1 bis 2 m von den Wänden statt. Die Messung erfolgt unter Ausgleichsbedingungen gemäß DIN EN ISO 16000-1 [10]. Hierzu werden nach vorangegangener intensiver Lüftung (15 Minuten) der natürlich belüfteten Innenräume Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens acht Stunden – vorzugsweise über Nacht – geschlossen. Zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen, z. B. Abkleben der Fenster- und Türspalten, sind nicht erforderlich. Die Probenahme erfolgt im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Während der Messung kann in den Räumen gearbeitet werden.

Die VOC-Proben werden auf den Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC, total volatile organic compounds) untersucht. Die Analyse erfolgt nach thermischer Desorption qualitativ mittels Gaschromatographie/Massenspektroskopie (GC/MS) und quantitativ mit Flammenionisationsdetektion (FID). Der Bereich der gemessenen Stoffe ist in Anlehnung an DIN ISO 16000-6 [11] definiert. Danach werden die Stoffe, die zwischen n-Hexan und n-Hexadecan einschließlich von einer unpolaren Säule eluieren, als TVOC bezeichnet. Abweichend davon bestimmt das IFA zusätzlich Butanon und Ethylacetat.

Basierend auf den bisherigen Erfahrungen werden bei einer regulären Analyse die in **Tabelle 1** aufgelisteten VOC angegeben. Diese Stoffe werden über eine Einzelstoffkalibrierung quantitativ analysiert. Sollten weitere Stoffe in erheblichen Konzentrationen auftreten, werden diese basierend auf einer Toluolkalibrierung (Toluoläquivalent) und bei nicht kalibrierten iso-Alkan- und Cycloalkanverbindungen basierend auf einer Dodecankalibrierung (Dodecanäquivalent) ausgewiesen.

Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Kartuschen mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels Hochleistungsflüssigkeitschromato-

graphie (HPLC, High Performance Liquid Chromatography). Zurzeit werden die in **Tabelle 1** gelisteten Aldehyde als Einzelkomponenten angegeben.

Erfolgt die Innenraummessung aufgrund von Klagen über die Raumluftqualität, wird in der Regel eine Parallelmessung in einem unbelasteten Vergleichsraum (Raum ohne Beschwerden von Nutzenden) durchgeführt. Alle Ergebnisse werden in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert.

3 Datenauswertung

Für die Auswertung wurden alle im Datenzeitraum von 2011 bis 2015 in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [7] dokumentierten Messdaten zu Innenraumarbeitsplatzmessungen herangezogen. Insgesamt lagen 610 Untersuchungen mit 3 384 Proben und daraus resultierend 92 945 Analysen aus 538 Betrieben vor. Es wurden nur Messdaten statistisch ausgewertet, die stationär in Büroräumen ohne maschinelle Lüftung ermittelt wurden und bei denen die Probenahmebedingungen den Vorgaben der Messverfahren [8; 9] entsprach (**Tabelle 2**).

Zusätzlich wurden die Messdaten aus dem Datenzeitraum von 2006 bis 2010 unter den heute gültigen Bedingungen erneut ausgewertet (**Tabelle 3**). In diesem Zeitraum lagen 528 Untersuchungen mit 2 767 Proben und daraus resultierend 71 919 Analysen aus 485 Betrieben vor. Eine Gegenüberstellung der beiden Datenkollektive soll mögliche Veränderungen der Konzentrationen und des Substanzspektrums über die Jahre sichtbar machen.

4 Diskussion

4.1 Veränderung der statistischen Werte

Im Folgenden wird die Entwicklung der Belastung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen anhand der Daten für den Zeitraum von 2011 bis 2015 (siehe **Tabelle 2**) im Vergleich zum Zeitraum von 2006 bis 2010 (**Tabelle 3**) betrachtet.

Seit 2011 werden weitere 22 Stoffe erfasst, daher fällt das Stoffspektrum für den Zeitraum von 2011 bis 2015 umfangreicher aus. Bis auf Benzol ist die Anzahl der Messwerte pro Einzelstoff für den Zeitraum von 2011 bis 2015 im Vergleich zu 2006 bis 2010 gestiegen.

Tabelle 2. Statistische Auswertung der Messdaten für den Zeitraum 2011 bis 2015.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste BG * in mg/m ³	Werte < BG *		Konzentrationen in mg/m ³		
				Anzahl	%	50 %	90 %	95 %
Summe der flüchtigen organischen Komponenten (TVOC)	1381	426	0,152	137	9,9	0,19	0,74	1,095
Alkane								
n-Heptan	1469	443	0,015	1012	68,9	BG !	0,02	0,051
n-Octan	1266	416	0,015	1195	94,4	BG !	BG !	0,006 +
n-Nonan	1420	442	0,015	1400	98,6	BG !	BG !	BG !
n-Decan	1483	448	0,015	1265	85,3	BG !	0,009 +	0,015 +
n-Undecan	1479	448	0,015	1121	75,8	BG !	0,014 +	0,027
n-Dodecan	1488	449	0,015	1297	87,2	BG !	0,007 +	0,013 +
n-Tridecan	1491	449	0,015	1383	92,8	BG !	BG !	0,007 +
n-Tetradecan	1491	449	0,015	1385	92,9	BG !	BG !	0,006 +
n-Pentadecan	1491	449	0,015	1429	95,8	BG !	BG !	BG !
n-Hexadecan	1491	449	0,015	1468	98,5	BG !	BG !	BG !
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C ₉ -C ₁₄	1478	447	0,061	1213	82,1	BG !	0,057 +	0,15
Terpene								
α-Pinen	1465	445	0,015	714	48,7	0,005 +	0,037	0,06
Limonen	1423	437	0,015	627	44,1	0,006 +	0,033	0,065
3-Karen	1464	445	0,015	1180	80,6	BG !	0,011 +	0,019
(+)-Longifolen	1491	449	0,015	1481	99,3	BG !	BG !	BG !
Aromaten								
Benzol	1175	397	0,015	1056	89,9	BG !	0,005 +	0,007 +
Toluol	1471	445	0,015	506	34,4	0,007 +	0,033	0,065
Ethylbenzol	1485	449	0,015	1169	78,7	BG !	0,01 +	0,016
o-Xylol	1386	431	0,015	1172	84,6	BG !	0,008 +	0,018
m-Xylol	1484	449	0,015	979	66	BG !	0,016	0,035
p-Xylol	1489	449	0,015	1307	87,8	BG !	0,006 +	0,014 +
n-Propylbenzol	49	14	0,006	48	98	BG !	BG !	BG !
Cumol (Isopropylbenzol)	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
1,2,3-Trimethylbenzol	1469	448	0,015	1399	95,2	BG !	BG !	BG !
1,2,4-Trimethylbenzol	1435	438	0,015	1176	82	BG !	0,011 +	0,023
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	1485	447	0,015	1398	94,1	BG !	BG !	0,006 +
Styrol	1468	448	0,015	1193	81,3	BG !	0,009 +	0,016
Naphthalin	1486	449	0,015	1440	96,9	BG !	BG !	BG !
Phenol	1459	445	0,02	1289	88,3	BG !	0,006 +	0,009 +
o-Kresol	51	14	0,006	51	100	BG !	BG !	BG !
m-Kresol	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
p-Kresol	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
Alkohole								
1-Butanol	1400	435	0,015	442	31,6	0,011 +	0,049	0,077
2-Ethylhexanol	1429	441	0,02	545	38,1	0,007 +	0,027	0,043
Benzylalkohol	51	14	0,01	48	94,1	BG !	BG !	0,01 +
Aldehyde								
Formaldehyd	1049	437	0,05	28	2,7	0,025 +	0,05	0,065
Acetaldehyd	991	408	0,04	327	33	0,015 +	0,041	0,058
Propanal (Propionaldehyd)	884	364	0,04	820	92,8	BG !	BG !	0,015 +
Butanal (Butyraldehyd)	885	363	0,04	819	92,5	BG !	BG !	0,014 +
Valeraldehyd	792	328	0,04	714	90,2	BG !	BG !	0,018 +
Hexanal	1272	414	0,015	1031	81,1	BG !	0,013 +	0,028
Glutaraldehyd (Glutaral)	874	358	0,04	873	99,9	BG !	BG !	BG !
Acrolein (Acrylaldehyd)	874	358	0,02	870	99,5	BG !	BG !	BG !
Benzaldehyd	46	14	0,01	45	97,8	BG !	BG !	BG !
Furfural (2-Furaldehyd)	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !

Fortsetzung Tabelle 2

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste BG * in mg/m ³	Werte < BG *		Konzentrationen in mg/m ³		
				Anzahl	%	50 %	90 %	95 %
Ester								
Ethylacetat	1482	446	0,015	981	66,2	BG !	0,015 +	0,03
n-Butylacetat	1476	446	0,015	1104	74,8	BG !	0,014 +	0,028
Ether								
2-Methoxyethanol	51	14	0,017	51	100	BG !	BG !	BG !
2-Ethoxyethanol	51	14	0,006	51	100	BG !	BG !	BG !
2-Butoxyethanol	1477	446	0,015	1071	72,5	BG !	0,012 +	0,022
2-Hexyloxyethanol	51	14	0,017	51	100	BG !	BG !	BG !
1-Methoxy-2-propanol	46	14	0,01	44	95,7	BG !	BG !	BG !
1-Ethoxypropan-2-ol	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
1-tert-Butoxy-2-propanol	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
2-Phenoxyethanol	1491	449	0,02	1016	68,1	BG !	0,01 +	0,012 +
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol (Diethylglykolmonomethylether)	51	14	0,028	51	100	BG !	BG !	BG !
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	62	18	0,017	56	90,3	BG !	BG !	0,12
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	1488	449	0,02	1354	91	BG !	BG !	0,01 +
2-Ethoxyethylacetat	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
2-Butoxyethylacetat	1491	449	0,015	1474	98,9	BG !	BG !	BG !
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	1486	447	0,02	1472	99,1	BG !	BG !	BG !
Bis(2-methoxyethyl)ether	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
Ketone								
Butanon	1362	428	0,015	767	56,3	BG !	0,019	0,029
4-Methylpentan-2-on	51	14	0,011	51	100	BG !	BG !	BG !
Acetophenon	51	14	0,011	49	96,1	BG !	BG !	BG !
Siloxane								
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	1478	447	0,015	380	25,7	0,011 +	0,034	0,048
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	1413	439	0,015	921	65,2	BG !	0,016	0,027
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	1482	448	0,015	446	30,1	0,011 +	0,064	0,1
Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)	51	14	0,011	50	98	BG !	BG !	BG !

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.

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

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

Die hinzugekommenen 22 Stoffe sind bis auf Benzylalkohol, Valeraldehyd und 2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol mit mehr als 95 % unter der Bestimmungsgrenze (BG) dokumentiert. Damit sind insgesamt 29 Einzelstoffe mit mehr als 95 % unter der BG dokumentiert.

Bei neun der bereits länger im Messprogramm enthaltenen Einzelstoffe erkennt man eine Erhöhung der 90- und 95-Perzentilwerte im zweiten Beobachtungszeitraum. Hierzu zählen u. a. die Terpene α -Pinen und 3-Karen neben 1-Butanol, 2-Ethylhexanol und Butanon. Auch die Perzentile für den TVOC-Wert liegen im jüngsten Zeitraum höher. Für 16 Stoffe ist sowohl der 90- als auch der 95-Perzentilwert niedriger als im Datenzeitraum von 2006 bis 2010. Hierzu zählen die Aldehyde Formaldehyd, Acetaldehyd und Hexanal, die Acetate sowie die Siloxane D3 und D4.

4.2 Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte

Entgegen der bisher bei den Unfallversicherungsträgern gängigen Praxis, die Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte auf der Basis der 90-Perzentile abzuleiten, wird nun ent-

sprechend der internationalen Konvention zur Ableitung von Referenzwerten das 95-Perzentil zugrunde gelegt [6]. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die auf der Basis der niedrigeren 90-Perzentile abgeleiteten Referenzwerte aus dem Jahre 2011 zum Teil fehlinterpretiert und dann unnötige Maßnahmen in die Wege geleitet wurden.

Grundsätzlich lassen Referenzwerte im Gegensatz zu den toxikologisch abgeleiteten Richtwerten keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung zu. Sind die Referenzwerte überschritten, kann nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden. Eine wesentliche Überschreitung des Wertes kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Einhaltung des zugehörigen Messverfahrens und der Messstrategie.

Zur Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte werden die Auswertungen aus dem Datenzeitraum 2011 bis 2015 herangezogen (Tabelle 2). Somit können pro Einzelstoff zwischen 792 und 1491 Messwerte ausgewertet

Tabelle 3. Statistische Auswertung der Messdaten für den Zeitraum 2006 bis 2010.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste BG * in mg/m ³	Werte < BG *		Konzentrationen in mg/m ³		
				Anzahl	%	50 %	90 %	95 %
Summe der flüchtigen organischen Komponenten (TVOC)	1 231	390	0,101	142	11,5	0,2	0,72	0,99
Alkane								
n-Heptan	1 268	399	0,01	880	69,4	BG !	0,017	0,031
n-Octan	1 215	386	0,01	1 104	90,9	BG !	BG !	0,007 +
n-Nonan	1 214	382	0,01	1 119	92,2	BG !	BG !	0,009 +
n-Decan	1 238	389	0,01	1 007	81,3	BG !	0,01 +	0,022
n-Undecan	1 241	389	0,01	848	68,3	BG !	0,015	0,026
n-Dodecan	1 241	389	0,01	999	80,5	BG !	0,009 +	0,015
n-Tridecan	1 241	389	0,01	1 103	88,9	BG !	0,006 +	0,01 +
n-Tetradecan	1 241	389	0,01	1 084	87,3	BG !	0,006 +	0,009 +
n-Pentadecan	1 241	389	0,01	1 132	91,2	BG !	BG !	0,006 +
n-Hexadecan	1 241	389	0,01	1 165	93,9	BG !	BG !	0,006 +
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C ₉ -C ₁₄	1 239	389	0,04	963	77,7	BG !	0,07	0,2
Terpene								
α-Pinen	1 254	397	0,01	717	57,2	BG !	0,022	0,038
Limonen	1 263	398	0,01	526	41,6	0,006 +	0,033	0,055
3-Karen	1 268	400	0,01	1 094	86,3	BG !	0,007 +	0,014
(+)-Longifolen	981	316	0,01	961	98	BG !	BG !	BG !
Aromaten								
Benzol	1 190	379	0,01	1 062	89,2	BG !	0,005 +	0,007 +
Toluol	1 256	394	0,011	316	25,2	0,009 +	0,034	0,053
Ethylbenzol	1 250	397	0,01	946	75,7	BG !	0,009 +	0,014
o-Xylol	1 176	373	0,01	997	84,8	BG !	0,007 +	0,012
m-Xylol	1 206	382	0,01	732	60,7	BG !	0,017	0,028
p-Xylol	1 205	382	0,01	1 016	84,3	BG !	0,007 +	0,01 +
n-Propylbenzol	0	0		0				
Cumol (Isopropylbenzol)	0	0		0				
1,2,3-Trimethylbenzol	1 270	400	0,01	1 203	94,7	BG !	BG !	0,005 +
1,2,4-Trimethylbenzol	1 257	398	0,01	904	71,9	BG !	0,011	0,021
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	1 266	399	0,01	1 198	94,6	BG !	BG !	0,005 +
Styrol	1 266	397	0,01	965	76,2	BG !	0,01 +	0,016
Naphthalin	1 241	389	0,01	1 213	97,7	BG !	BG !	BG !
Phenol	1 250	396	0,01	1 138	91	BG !	BG !	0,007 +
o-Kresol	0	0		0				
m-Kresol	0	0		0				
p-Kresol	0	0		0				
Alkohole								
1-Butanol	1 179	375	0,01	377	32	0,011	0,039	0,059
2-Ethylhexanol	1 200	378	0,01	492	41	0,006 +	0,018	0,026
Benzylalkohol	0	0		0				
Aldehyde								
Formaldehyd	878	374	0,04	40	4,6	0,026 +	0,055	0,073
Acetaldehyd	820	337	0,08	149	18,2	0,02 +	0,051 +	0,064 +
Propanal (Propionaldehyd)	575	241	0,045	519	90,3	BG !	BG !	0,016 +
Butanal (Butyraldehyd)	563	243	0,08	511	90,8	BG !	BG !	0,014 +
Valeraldehyd	3	2	0,01	3	100			
Hexanal	1 242	396	0,01	569	45,8	0,006 +	0,023	0,033
Glutaraldehyd (Glutaral)	556	239	0,04	556	100	BG !	BG !	BG !
Acrolein (Acrylaldehyd)	558	241	0,04	549	98,4	BG !	BG !	BG !
Benzaldehyd	0	0		0				
Furfural (2-Furaldehyd)	0	0		0				

Fortsetzung Tabelle 3

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste BG * in mg/m ³	Werte < BG .*		Konzentrationen in mg/m ³		
				Anzahl	%	50 %	90 %	95 %
Ester								
Ethylacetat	1271	400	0,01	907	71,4	BG !	0,018	0,033
n-Butylacetat	1269	399	0,01	830	65,4	BG !	0,022	0,045
Ether								
2-Methoxyethanol	0	0		0				
2-Ethoxyethanol	0	0		0				
2-Butoxyethanol	1204	377	0,01	902	74,9	BG !	0,014	0,024
2-Hexyloxyethanol	0	0		0				
1-Methoxy-2-propanol	0	0		0				
1-Ethoxypropan-2-ol	0	0		0				
1-tert-Butoxy-2-propanol	0	0		0				
2-Phenoxyethanol	1153	355	0,01	909	78,8	BG !	0,009 +	0,013
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol (Diethylglykolmonomethyl- ether)	0	0		0				
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	0	0		0				
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	1152	354	0,01	1053	91,4	BG !	BG !	0,011
2-Ethoxyethylacetat	0	0		0				
2-Butoxyethylacetat	1272	400	0,01	1251	98,3	BG !	BG !	BG !
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	1272	400	0,01	1254	98,6	BG !	BG !	BG !
Bis(2-methoxyethyl)ether	0	0		0				
Ketone								
Butanon	1039	342	0,01	811	78,1	BG !	0,013	0,024
4-Methylpentan-2-on	0	0		0				
Acetophenon	0	0		0				
Siloxane								
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	976	313	0,007	308	31,6	0,009	0,034	0,052
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	910	310	0,01	594	65,3	BG !	0,02	0,034
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	1270	400	0,01	377	29,7	0,01 +	0,054	0,11
Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)	0	0		0				

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.

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

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

werden, womit eine gute statistische Absicherung gewährleistet ist. Für 21 Einzelstoffe liegen weniger als 100 Messwerte vor. Für diese Stoffe wird noch kein Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert abgeleitet.

Aus Tabelle 2 ist zu erkennen, dass ein hoher Anteil der Messwerte für viele Stoffe unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegt. Die Ableitung der neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte erfolgte nur für Stoffe, bei denen weniger als 95 % der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze lagen. Zur Ableitung der Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte werden die Perzentile auf zwei Nachkommastellen gerundet.

Für Benzol wird aufgrund seiner krebserzeugenden Wirkung kein Referenzwert abgeleitet. Auch für die Summe der flüchtigen organischen Komponenten (TVOC) wird kein Referenzwert angegeben, da der abgeleitete Wert mit 1,1 mg/m⁵ über dem Leitwert des Ausschusses für Innenraumrichtwerte von 1 mg/m⁵ liegt, ab dem eine hygienische Auffälligkeit besteht.

Die neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte sind in **Tabelle 4** den alten Werten sowie den Richtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte gegenübergestellt.

Die neu abgeleiteten Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte liegen aufgrund der Ableitung vom 95-Perzentil über den im Jahre 2011 abgeleiteten Werten, die auf dem 90-Perzentil als Grundlage beruhten. Alle abgeleiteten Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte für Stoffe, für die der Ausschuss für Innenraumrichtwerte einen Richtwert aufgestellt hat, liegen auch mit den neuen Auswertekriterien unter dem jeweiligen Richtwert I.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die auf der Basis der einheitlichen MGU-Messstrategie ausgewerteten Daten liefern ein aktuelles Bild über die heutigen Raumluftkonzentrationen an Innenraumarbeitsplätzen in Deutschland. Die einheitlich erfassten Daten und deren zentrale Auswertung machen es möglich, Veränderungen im Expositionsniveau von Innenraumarbeitsplätzen zu beobachten und gegebenenfalls mit entsprechenden Maß-

Tabelle 4. Gegenüberstellung der neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte mit den Referenzwerten aus dem Jahre 2011 und den Richtwerten I des Ausschusses für Innenraumrichtwerte.

Verbindung	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert 2011 in mg/m ³	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert 2018 in mg/m ³	Richtwert I in mg/m ³
Summe der flüchtigen organischen Komponenten (TVOC)	1	–	
Alkane			
n-Heptan	0,02	0,05	
n-Octan	0,01	0,01	
n-Nonan	0,01	–	
n-Decan	0,01	0,02	
n-Undecan	0,02	0,03	
n-Dodecan	0,01	0,01	
n-Tridecan	0,01	0,01	
n-Tetradecan	0,01	0,01	
n-Pentadecan	0,01	–	
n-Hexadecan	–	–	
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C ₉ –C ₁₄	0,07	0,15	0,2
Terpene			
α-Pinen	0,02	0,06	0,2
Limonen	0,03	0,07	1
3-Karen	0,01	0,02	
(+)-Longifolen	–	–	
Aromaten			
Benzol	–	–	
Toluol	0,04	0,07	0,3
Ethylbenzol	0,01	0,02	0,2
o-Xylol	0,01	0,02	0,1 für die Summe der Xylole
m-Xylol	0,02	0,04	
p-Xylol	0,01	0,01	
n-Propylbenzol	–	–	
Cumol (Isopropylbenzol)	–	–	
1,2,3-Trimethylbenzol	–	–	
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01	0,02	
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	–	0,01	
Styrol	0,01	0,02	0,03
Naphthalin	–	–	0,01 (v)
Phenol	–	0,01	0,02
o-Kresol	–	–	0,005 für die Summe der Kresole
m-Kresol	–	–	
p-Kresol	–	–	
Alkohole			
1-Butanol	0,04	0,08	0,7
2-Ethylhexanol	0,02	0,04	0,1 (v)
Benzylalkohol	–	–	
Aldehyde			
Formaldehyd	0,06	0,07	0,1
Acetaldehyd	0,05	0,06	0,1
Propanal (Propionaldehyd)	–	0,02	
Butanal (Butyraldehyd)	–	–	
Valeraldehyd	–	0,02	
Hexanal	0,03	0,03	
Glutaraldehyd (Glutaral)	–	–	
Acrolein (Acrylaldehyd)	–	–	
Benzaldehyd	–	–	0,02 (v)
Furfural (2-Furaldehyd)	–	–	0,01

Fortsetzung Tabelle 4

Verbindung	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert 2011 in mg/m ³	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert 2018 in mg/m ³	Richtwert I in mg/m ³
Ester			
Ethylacetat	0,02	0,03	0,6
n-Butylacetat	0,02	0,03	
Ether			
2-Methoxyethanol	–	–	0,02
2-Ethoxyethanol	–	–	0,1
2-Butoxyethanol	0,01	0,02	0,1
2-Hexyloxyethanol	–	–	0,1
1-Methoxy-2-propanol	–	–	1
1-Ethoxypropan-2-ol	–	–	0,3
1-tert-Butoxy-2-propanol	–	–	0,3
2-Phenoxyethanol	0,01	0,01	
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol (Diethylenglykolmonomethylether)	–	–	2 (v)
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	–	–	0,7 (v)
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	–	0,01	0,4 (v)
2-Ethoxyethylacetat	–	–	0,2 (v)
2-Butoxyethylacetat	–	–	0,2 (v)
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	–	–	
Bis(2-methoxyethyl)ether	–	–	0,03
Ketone			
Butanon	0,01	0,03	
4-Methylpentan-2-on	–	–	0,1
Acetophenon	–	–	
Siloxane			
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03	0,05	0,4 für die Summe der cyclischen Dimethylsiloxane
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02	0,03	
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,06	0,10	
Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)	–	–	

(v): vorläufig

nahmen auf eine sich aus den Daten abzuleitende Belastung der Beschäftigten zu reagieren. Auf der Grundlage der statistischen Auswertung der Messergebnisse werden aktuelle Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte vorgeschlagen, die zur Bewertung der Innenraumluftqualität herangezogen werden können. Die Werte können zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplatz-Belastungen nur bei Anwendung

der zugrundeliegenden Messstrategie und Messverfahren verwendet werden. Obwohl die Referenzwerte aus Messungen in nicht maschinell belüfteten Räumen abgeleitet wurden, können sie, solange keine speziellen Referenzwerte vorliegen, auch orientierend zur Bewertung von Belastungen in maschinell belüfteten Räumen dienen.

Literatur

- [1] Schlechter, N.; Pohl, K.; Barig, A.; Kupka, S.; Kleine, H.; Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Lichtenstein, N.; Hennig, M.: Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99.
- [2] VDI 4300: Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Berlin: Beuth 2001.
- [3] DIN EN ISO 16000: Innenraumluftverunreinigungen. Berlin: Beuth 2001.
- [4] Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals ad-hoc-Arbeitsgruppe). Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc

- [5] Breuer, D.; Sagunski, H.; Ball, M.; Hebisch, R.; von Hahn, N.; Lahrz, T.; Nitz, G.; Pannwitz, K. H.; Rosenberger, W.; Schwabe, R.: Empfehlungen zur Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen – Ergebnisse einer gemeinsamen Erarbeitung der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 74 (2014) Nr. 9, S. 354-360.
- [6] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden.

- Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007), S. 990-1005. www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/innenraumluftkontaminationen.pdf
- [7] Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ – MEGA. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. www.dguv.de/ifa, Webcode d4806
- [8] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.*: VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffe. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8936
- [9] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.*: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffe. 43. Lfg. XI/09. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045
- [10] DIN EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (6/2006). Berlin: Beuth 2006.
- [11] DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (11/2012). Berlin: Beuth 2012.