

# Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten

N. von Hahn, R. Van Gelder, D. Breuer, J.-U. Hahn, S. Gabriel, H. Kleine

**Zusammenfassung** Seit 2001 werden von den Trägern der Gesetzlichen Unfallversicherung Messdaten zur Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen erfasst und zentral dokumentiert. Nach der erstmaligen Ableitung von Referenzwerten auf Basis dieser Daten im Jahre 2004, wurden im Jahre 2010 die bis dahin gesammelten Daten erneut ausgewertet. Mögliche Veränderungen der Konzentrationen und des Substanzspektrums können anhand der Aufteilung in zwei Teilkollektive (bis 2005, ab 2006) erkannt werden. Auf der Basis des gesamten Datenbestandes werden aktualisierte Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte vorgeschlagen, die zur Beurteilung der Raumluftqualität an Innenraumarbeitsplätzen herangezogen werden können.

## Derivation of reference values for indoor workplaces

**Abstract** The social accident insurance institutions have been collecting and centrally documenting measured data on air quality at indoor workplaces since 2001. Reference values were first derived on the basis of these data in 2004, and in 2010 the data collected by that time were evaluated again. Possible changes in the concentrations and of the range of substances can be detected by dividing the data into two groups (up to 2005, from 2006). On the basis of the total stock of data, updated indoor workplace reference values are proposed that can be used for the assessment of room air quality at indoor workplaces.

## 1 Einleitung

Entsprechend der Arbeitsstättenverordnung [1] soll die Luft an Arbeitsplätzen in der Regel Außenluftqualität aufweisen. Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft dienen im Allgemeinen die Arbeitsplatzgrenzwerte gemäß TRGS 900 [2]. Diese Grenzwerte sind für Arbeitsplätze ausgelegt, an denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchgeführt werden. Innenraumarbeitsplätze, wie sie in Büros, Verkaufsräumen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theatern, Kinos, öffentlichen Verkehrsmitteln oder Kraftfahrzeugen zu finden sind, fallen nicht unter diese Definition. Für solche Arbeitsplätze gibt es derzeit nur wenige Regelungen zur Qualität der Innenraumluft.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden hat zur Beurteilung der Innenraumluftqualität im Jahre 2007 folgende Bewertungsrangfolge empfohlen [3]: Zunächst sind die von der Arbeitsgruppe für

einzelne Substanzen oder Substanzgruppen toxikologisch abgeleiteten Richtwerte heranzuziehen. Für Stoffe, für die es bislang keine Richtwerte gibt, können statistisch abgeleitete Referenzwerte zur Bewertung herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Referenzwerte im Gegensatz zu den Richtwerten keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung ermöglichen. Sind die Referenzwerte unterschritten, bedeutet das also nicht zwangsläufig, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Umgekehrt kann aus einer Überschreitung dieser Werte 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.

Im Jahre 2004 veröffentlichte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA, ehemals BIA) erstmals Referenzwerte zur Beurteilung der Luftqualität von Innenraumarbeitsplätzen (Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte, IRW) basierend auf Messdaten der Unfallversicherungsträger [4]. In den folgenden Jahren wurde die Liste der Stoffe von ursprünglich 25 auf 40 Einzelstoffe erweitert. Notwendig wurden die Ergänzungen einerseits durch die Berücksichtigung von Einzelstoffen, die im Zuge des Messprogramms „Innenraummessungen für Büroarbeitsplätze“ wiederholt in Proben nachgewiesen wurden. Andererseits wurden Stoffe wie Naphthalin und aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (Kettenlänge C<sub>9</sub> bis C<sub>14</sub>) in das Untersuchungsprogramm aufgenommen: Für diese hatte die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden in der Zwischenzeit Richtwerte aufgestellt. Im Jahr 2010 wurden die bis dahin in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [5] dokumentierten Messdaten erneut statistisch ausgewertet, um aktuelle Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte abzuleiten.

## 2 Datenerhebung

Die im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) [6] für die Bedürfnisse der Unfallversicherungsträger entwickelte Messstrategie für Innenraumarbeitsplatzmessungen [4] basiert auf der Richtlinienreihe VDI 4500 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“ [7] und auf der Normenreihe DIN EN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ [8].

Vor der Messung werden nicht technisch belüftete Innenräume 15 min intensiv gelüftet; anschließend werden alle Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens 8 h (am besten über Nacht) geschlossen. Zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen, z. B. Abkleben der Fenster- und Türspalte, sind dabei nicht erforderlich. Die Probenahme erfolgt im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Während der Messung können die Räume normal genutzt werden. Bei technisch belüfteten Räumen entfallen die anfängliche intensive Lüftung und das Geschlossenhalten der Türen und Fenster über Nacht. Die Lüftungsanlage soll viel-

Dr. rer. nat. Nadja von Hahn,  
Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder,

Dr. rer. nat. Dietmar Breuer,

Dr. rer. nat. Jens-Uwe Hahn, Stefan Gabriel,

Dr.-Ing. Horst Kleine,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Tabelle 1. Übersicht über die untersuchten VOC und Aldehyde.

<b>Alkane</b>	n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, n-Hexadecan
<b>Aromaten</b>	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (alle Isomere), Styrol, 1,2,3-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, Mesitylen, Phenol, Naphthalin
<b>Alkohole</b>	Butan-1-ol, 2-Ethylhexan-1-ol
<b>Ketone</b>	Butanon
<b>Ester</b>	Ethylacetat, n-Butylacetat, 2-Butoxyethylacetat, 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat
<b>Glykole/Glykolether</b>	2-Butoxyethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, 2-Phenoxyethanol
<b>Terpene/Sesquiterpene</b>	$\alpha$ -Pinen, 3-Karen, Limonen, (+)-Longifolen
<b>Aldehyde</b>	Acetaldehyd, Acrylaldehyd (Acrolein), Butyraldehyd, Formaldehyd, Glutaral (Glutardialdehyd), Glyoxal, Hexanal <sup>1)</sup> , Propionaldehyd
<b>Siloxane</b>	Decamethylcyclopentasiloxan, Octamethylcyclotetrasiloxan, Hexamethylcyclotrisiloxan

<sup>1)</sup> Hexanal wird im Gegensatz zu den anderen Aldehyden mit dem VOC-Verfahren bestimmt.

mehr vor Beginn der Messung drei Stunden im Normalbetrieb gelaufen sein.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC, volatile organic compounds) sowie Formaldehyd/Aldehyde werden nach MGU-Standardverfahren [9; 10] bestimmt. Über die Datenerfassung werden die Randbedingungen der Messung wie z. B. Lage des Gebäudes, Renovierung, Mobiliar, Nutzung, das Raumklima sowie die vorherrschende Lüftungssituation erfasst.

Um die Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Luft am Arbeitsplatz zu bestimmen, werden Thermodesorptionsröhrchen ATD TENAX® TA beaufschlagt. Die gesammelten 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 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 Stoffe 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.

Die Formaldehyd-/Aldehydprobenahme geschieht mit dem Probenträger Waters Sep-Pak. Sollen sowohl VOC als auch Aldehyde bestimmt werden, schließt sich die Aldehydprobenahme nach Ende der VOC-Probenahme an. Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Kartuschen mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Zurzeit werden die in **Tabelle 1** gelisteten Aldehyde als Einzelkomponenten angegeben.

Erfolgt die Innenraummessung aufgrund von Klagen über die Raumluftqualität, wird nach Möglichkeit als Referenz eine Parallelmessung in einem unbelasteten Vergleichsraum (Raum ohne Beschwerden) durchgeführt. Alle Ergeb-

nisse werden in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert.

### 3 Datenauswertung

Im September 2010 wurden alle bis dahin in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [5] dokumentierten Messdaten zu Innenraumarbeitsplatzmessungen statistisch ausgewertet. Dabei wurden nur Messdaten betrachtet, die stationär in Büroräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden und bei denen die Probenahmedauer den Vorgaben der Messverfahren [9; 10] entsprach. Insgesamt wurden 696 Untersuchungen mit 5 381 Proben und daraus resultierend 70 151 Analysen aus 651 Betrieben zur Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte (IRW) herangezogen. Die Betriebe stammen aus ganz Deutschland und bilden eine breite Branchenpalette ab.

Im Jahr 2006 wurde im MGU nach einer Pilotphase in den Jahren 2001 bis 2005 ein Messprogramm für Innenraumarbeitsplatzmessungen im MGU etabliert. Zunächst wurden daher die Messdaten der Jahre 2001 bis 2005 und 2006 bis 2010 getrennt ausgewertet (**Tabellen 2** und **5**). Eine Gegenüberstellung dieser beiden Kollektive soll mögliche Veränderungen der Konzentrationen und des Substanzspektrums über die Jahre sichtbar machen. Zusätzlich wurde zur Verbreiterung der Datenbasis der Gesamtdatenbestand von 2001 bis 2010 ausgewertet (**Tabelle 4**).

### 4 Diskussion

#### 4.1 Veränderung der Gefahrstoffbelastungen im Beobachtungszeitraum

Im Folgenden wird die Entwicklung der Belastung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen anhand der Daten für den Zeitraum von 2001 bis 2005 (siehe **Tabelle 2**) im Vergleich zum Zeitraum von 2006 bis 2010 (**Tabelle 3**) betrachtet.

Mit dem neuen Messprogramm wurden im Jahr 2006 gleichzeitig weitere Stoffe erfasst, daher fällt das Stoffspektrum für den Zeitraum von 2006 bis 2010 umfangreicher aus. Generell ist die Anzahl der Messwerte pro Einzelstoff für dieses Kollektiv ein wenig höher als für das Kollektiv des Zeitraums von 2001 bis 2005.

Bei sechs Einzelstoffen erkennt man eine Erhöhung der 90- und 95-Perzentilwerte im zweiten Beobachtungszeitraum (**Tabelle 5**). Auffällig ist die Erhöhung der Perzentilwerte für

Tabelle 2. Statistische Auswertung der Messwerte für den Zeitraum 2001 bis 2005.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m³	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m³	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
TVOC	899	275	0,05	8	0,9	1,002	1,588
aliphatische Kohlenwasserstoffgemische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	0	0	–	0	–	–	–
<b>Alkane</b>							
n-Heptan	901	277	0,01	623	69,1	0,016	0,026
n-Octan	0	0	–	0	–	–	–
n-Nonan	0	0	–	0	–	–	–
n-Decan	7	2	–	0	–	–	–
n-Undecan	0	0	–	0	–	–	–
n-Dodecan	0	0	–	0	–	–	–
n-Tridecan	0	0	–	0	–	–	–
n-Tetradecan	0	0	–	0	–	–	–
n-Pentadecan	43	8	0,006	42	97,7	!	!
n-Hexadecan	0	0	–	0	–	–	–
<b>Aromaten</b>							
Benzol	872	272	0,01	677	77,6	+ 0,008	0,011
Toluol	905	277	0,005	66	7,3	0,058	0,098
Ethylbenzol	877	269	0,01	652	74,3	0,011	0,015
Xylol (alle Isomere)	877	269	0,01	331	37,7	0,037	0,0712
o-Xylol	0	0	–	0	–	–	–
m-Xylol	0	0	–	0	–	–	–
p-Xylol	0	0	–	0	–	–	–
1,2,3-Trimethylbenzol	878	269	0,01	812	92,5	!	+ 0,007
1,2,4-Trimethylbenzol	879	269	0,01	469	53,4	0,018	0,033
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	878	269	0,01	779	88,7	+ 0,005	+ 0,009
Styrol	874	269	0,01	699	80	+ 0,01	0,014
Naphthalin	0	0	–	0	–	–	–
Phenol	230	69	0,01	207	90	+ 0,005	+ 0,009
<b>Alkohole</b>							
Butan-1-ol	898	276	0,01	372	41,4	0,033	0,05
2-Ethylhexan-1-ol	664	203	0,01	304	45,8	0,02	0,029
<b>Ketone</b>							
Butanon	908	277	0,01	700	77,1	0,014	0,0276
4-Methylpentan-2-on	232	73	0,005	227	97,8	!	!
<b>Ester</b>							
Ethylacetat	906	277	0,01	657	72,5	0,0184	0,034
n-Butylacetat	906	277	0,01	698	77	0,0134	0,0287
<b>Ether</b>							
2-Butoxyethanol	853	261	0,01	691	81	0,014	0,0303
2-Butoxyethylacetat	841	258	0,011	817	97,1	!	!
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	839	257	0,01	795	94,8	!	+ 0,006
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	424	116	0,01	415	97,9	!	!
2-Phenoxyethanol	860	264	0,01	809	94,1	!	+ 0,008
<b>Terpene</b>							
α-Pinen	878	269	0,01	646	73,6	0,017	0,0311
Limonen	906	277	0,006	414	45,7	0,0362	0,082
3-Karen	664	203	0,01	577	86,9	+ 0,008	0,0196
(+)-Longifolen	0	0	–	0	–	–	–

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m <sup>3</sup>	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
<b>Aldehyde</b>							
Formaldehyd	640	263	0,04	49	7,7	0,06	0,07
Acetaldehyd	594	250	0,08	226	38	+ 0,05	+ 0,0683
Propionaldehyd	516	229	0,08	505	97,9	!	!
Butyraldehyd	514	228	0,08	503	97,9	!	!
Glutaral (Glutardialdehyd)	514	228	0,08	514	100	!	!
Hexanal	409	113	0,006	155	37,9	0,047	0,067
Acrylaldehyd	514	228	0,04	514	100	!	!
<b>Siloxane</b>							
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0	0	–	0	–	–	–
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0	0	–	0	–	–	–
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	663	203	0,05	299	45,1	0,054	0,0906

\* Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens sind bei der Auswertung mit der halben a. B. berücksichtigt.

+ Dieser Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten a. B. im Kollektiv.

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

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

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m <sup>3</sup>	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
TVOC	1039	341	0,051	110	10,6	0,74	0,991
aliphatische Kohlenwasserstoff- gemische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	1025	333	0,022	788	76,9	0,071	0,2
<b>Alkane</b>							
n-Heptan	1061	346	0,01	706	66,5	0,017	0,03
n-Octan	1010	329	0,01	909	90	+ 0,005	+ 0,008
n-Nonan	1013	329	0,01	918	90,6	!	0,011
n-Decan	1035	337	0,006	830	80,2	0,011	0,022
n-Undecan	1025	333	0,007	702	68,5	0,015	0,0257
n-Dodecan	1025	333	0,01	800	78	+ 0,009	0,015
n-Tridecan	1025	333	0,006	890	86,8	0,0065	0,013
n-Tetradecan	1025	333	0,006	870	84,9	0,0065	0,01
n-Pentadecan	1025	333	0,006	918	89,6	+ 0,005	0,007
n-Hexadecan	1025	333	0,006	951	92,8	!	+ 0,006
<b>Aromaten</b>							
Benzol	1008	333	0,01	911	90,4	!	+ 0,007
Toluol	1053	344	0,011	251	23,8	0,037	0,0597
Ethylbenzol	1044	345	0,01	768	73,6	+ 0,009	0,014
Xylol (alle Isomere)	72	21	0,005	32	44,4	0,0258	0,0388
o-Xylol	977	321	0,01	816	83,5	+ 0,007	+ 0,01
m-Xylol	991	327	0,01	565	57	0,017	0,0255
p-Xylol	992	327	0,01	832	83,9	+ 0,007	+ 0,01
1,2,3-Trimethylbenzol	1065	347	0,01	1017	95,5	!	!
1,2,4-Trimethylbenzol	1060	344	0,01	739	69,7	0,011	0,019
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	1064	346	0,01	1018	95,7	!	!
Styrol	1062	344	0,01	774	72,9	0,011	0,0179

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m <sup>3</sup>	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
Naphthalin	1025	333	0,01	1003	97,9	!	!
Phenol	1034	339	0,01	933	90,2	!	+ 0,008
<b>Alkohole</b>							
Butan-1-ol	975	323	0,01	309	31,7	0,0385	0,058
2-Ethylhexan-1-ol	984	322	0,006	412	41,9	0,018	0,026
<b>Ketone</b>							
Butanon	889	302	0,01	662	74,5	0,015	0,0266
4-Methylpentan-2-on	11	4	0,005	8	72,7	-	-
<b>Ester</b>							
Ethylacetat	1064	347	0,009	766	72	0,018	0,0308
n-Butylacetat	1062	346	0,01	686	64,6	0,02	0,0359
<b>Ether</b>							
2-Butoxyethanol	998	325	0,006	750	75,2	0,014	0,023
2-Butoxyethylacetat	1054	343	0,01	1039	98,6	!	!
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	951	304	0,01	870	91,5	!	0,011
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	1054	343	0,01	1044	99,1	!	!
2-Phenoxyethanol	952	306	0,01	741	77,8	+ 0,009	0,0134
<b>Terpene</b>							
$\alpha$ -Pinen	1054	346	0,01	596	56,5	0,021	0,042
Limonen	1058	346	0,01	431	40,7	0,034	0,0542
3-Karen	1051	343	0,01	909	86,5	+ 0,007	0,014
(+)-Longifolen	774	261	0,01	754	97,4	!	!
<b>Aldehyde</b>							
Formaldehyd	747	338	0,04	28	3,7	0,055	0,07
Acetaldehyd	710	311	0,08	143	20,1	+ 0,05	+ 0,065
Propionaldehyd	511	229	0,045	470	92	!	+ 0,013
Butyraldehyd	517	232	0,08	465	86,9	+ 0,01	+ 0,015
Glutaral (Glutardialdehyd)	510	228	0,04	510	100	!	!
Hexanal	1035	338	0,01	450	43,5	0,023	0,0333
Acrylaldehyd	512	230	0,04	503	98,2	!	!
<b>Siloxane</b>							
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	769	258	0,006	264	34,3	0,0331	0,0515
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	729	257	0,01	449	61,6	0,021	0,0336
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	1063	347	0,01	311	29,3	0,059	0,12

\* Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens sind bei der Auswertung mit der halben a. B. berücksichtigt.

+ Dieser Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten a. B. im Kollektiv.

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

Decamethylcyclopentasiloxan,  $\alpha$ -Pinen und n-Butylacetat. Decamethylcyclopentasiloxan enthalten zahlreiche Produkten des täglichen Lebens wie z. B. Haar- und Körperpflege-mittel, Kosmetika sowie Wasch- und Reinigungsmittel, Möbelpolituren, Fugendichtmassen, Farben, Lacke, Papiermaterialien oder Textilien [12]. Somit lässt sich dieser Stoff heutzutage in nahezu jedem Innenraum nachweisen.

Die Erhöhung der  $\alpha$ -Pinen-Konzentration spiegelt den bereits in den 1990er Jahren sich abzeichnenden Trend einer Erhöhung der Konzentrationen an bicyclischen Terpenen in der Innenraumluft durch vermehrte Verwendung von Weichhölzern (z. B. Kiefernholz) wider [13].

n-Butylacetat ist ein sehr geruchsintensiver Stoff, der als Lösemittel vor allem in Klebern, Lacken und Farben Anwen-

dung findet. In der Pilotphase wurden deutlich weniger Räume mit Beschwerden untersucht als in der Folgephase. So könnte der erhöhte Wert dadurch erklärbar sein, dass in der zweiten Phase mehr Messungen, z. B. infolge von Renovierungsmaßnahmen, durchgeführt wurden.

Die Stoffe in **Tabelle 6** zeigen verringerte 90- und 95-Perzentilwerte. Auch die Perzentilwerte für die Summe an flüchtigen organischen Verbindungen liegen im Zeitraum von 2006 bis 2010 unterhalb derer des Zeitraums von 2001 bis 2005. So ist der 90-Perzentilwert um 26 % auf 0,74 mg/m<sup>3</sup> abgesunken und der 95-Perzentilwert beträgt mit 0,991 mg/m<sup>3</sup> nur noch 62 % des Wertes von 2001 bis 2005.

Die Abnahme der Perzentilwerte fällt mit ca. 40 % bei Toluol, Xylol (Summe aller Isomere) sowie 1,2,4-Trimethylben-

Tabelle 4. Statistische Auswertung der Messdaten für den Zeitraum 2001 bis 2010.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m <sup>3</sup>	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
TVOC	1938	606	0,051	118	6,1	0,854	1,3
aliphatische Kohlenwasserstoff- gemische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	1025	333	0,022	788	76,9	0,071	0,2
<b>Alkane</b>							
n-Heptan	1962	613	0,01	1329	67,7	0,017	0,028
n-Octan	1010	329	0,01	909	90	+ 0,005	+ 0,008
n-Nonan	1013	329	0,01	918	90,6	!	0,011
n-Decan	1042	339	0,006	830	79,7	0,011	0,025
n-Undecan	1025	333	0,007	702	68,5	0,015	0,0257
n-Dodecan	1025	333	0,01	800	78	+ 0,009	0,015
n-Tridecan	1025	333	0,006	890	86,8	0,0065	0,013
n-Tetradecan	1025	333	0,006	870	84,9	0,0065	0,01
n-Pentadecan	1068	340	0,006	960	89,9	+ 0,005	0,007
n-Hexadecan	1025	333	0,006	951	92,8	!	+ 0,006
<b>Aromaten</b>							
Benzol	1880	596	0,01	1588	84,5	+ 0,006	+ 0,009
Toluol	1958	611	0,011	317	16,2	0,042	0,0802
Ethylbenzol	1921	604	0,01	1420	73,9	+ 0,01	0,015
Xylol (alle Isomere)	949	287	0,01	363	38,3	0,0361	0,069
o-Xylol	977	321	0,01	816	83,5	+ 0,007	+ 0,01
m-Xylol	991	327	0,01	565	57	0,017	0,0255
p-Xylol	992	327	0,01	832	83,9	+ 0,007	+ 0,01
1,2,3-Trimethylbenzol	1943	606	0,01	1829	94,1	!	+ 0,006
1,2,4-Trimethylbenzol	1939	603	0,01	1208	62,3	0,014	0,023
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	1942	605	0,01	1797	92,5	!	+ 0,007
Styrol	1936	603	0,01	1473	76,1	+ 0,01	0,0152
Naphthalin	1025	333	0,01	1003	97,9	!	!
Phenol	1264	401	0,01	1140	90,2	!	+ 0,008
<b>Alkohole</b>							
Butan-1-ol	1873	589	0,01	681	36,4	0,036	0,055
2-Ethylhexan-1-ol	1648	515	0,01	716	43,4	0,019	0,028
<b>Ketone</b>							
Butanon	1797	569	0,01	1362	75,8	0,014	0,027
4-Methylpentan-2-on	243	77	0,005	235	96,7	!	!
<b>Ester</b>							
Ethylacetat	1970	614	0,01	1423	72,2	0,018	0,032
n-Butylacetat	1968	613	0,01	1384	70,3	0,019	0,034
<b>Ether</b>							
2-Butoxyethanol	1851	576	0,01	1441	77,8	0,014	0,0244
2-Butoxyethylacetat	1895	591	0,011	1856	97,9	!	!
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	1790	551	0,01	1665	93	!	+ 0,009
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	1478	450	0,01	1459	98,7	!	!
2-Phenoxyethanol	1812	560	0,01	1550	85,5	+ 0,007	0,012



Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Höchste a. B.* in mg/m³	Werte < a. B.*		Konzentrationen in mg/m³	
				Anzahl	%	90-%-Wert	95-%-Wert
<b>Terpene</b>							
α-Pinen	1932	605	0,01	1242	64,3	0,02	0,037
Limonen	1964	613	0,01	845	43	0,034	0,0638
3-Karen	1715	536	0,01	1486	86,6	+ 0,007	0,016
(+)-Longifolen	774	261	0,01	754	97,4	!	!
<b>Aldehyde</b>							
Formaldehyd	1387	590	0,04	77	5,6	0,0553	0,07
Acetaldehyd	1304	552	0,08	369	28,3	+ 0,05	+ 0,0658
Propionaldehyd	1027	451	0,08	975	94,9	!	+ 0,02
Butyraldehyd	1031	453	0,08	968	93,9	!	+ 0,02
Glutaral (Glutardialdehyd)	1024	449	0,08	1024	100	!	!
Hexanal	1444	442	0,01	605	41,9	0,0266	0,047
Acrylaldehyd	1026	451	0,04	1017	99,1	!	!
<b>Siloxane</b>							
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	769	258	0,006	264	34,3	0,0331	0,0515
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	729	257	0,01	449	61,6	0,021	0,0336
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	1726	540	0,05	610	35,3	0,0564	0,11

\* Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens sind bei der Auswertung mit der halben a. B. berücksichtigt.  
 + Dieser Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten a. B. im Kollektiv.  
 ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der a. B. ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

zol besonders auf. Für Hexanal lässt sich die hohe Abnahme von 50 % u. a. dadurch erklären, dass dieser Stoff erst in der zweiten Betrachtungsperiode regelmäßig bestimmt wurde. In der Zeit von 2001 bis 2005 wurde er nur angegeben, wenn er explizit nachgewiesen werden konnte. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass zunehmend auf die Verwendung schadstoffarmer Produkte geachtet wird. Vor allem bei Lacken und Farben werden heutzutage sogenannte lösemittelfreie Produkte eingesetzt. Sie enthalten anstelle der hier erfassten VOC vermehrt schwerer flüchtige organische Verbindungen (SVOC, semi volatile organic compounds), die über einen wesentlich längeren Zeitraum an die Raumluft abgegeben werden. Diese Stoffe erfasst die Routineanalytik zur Untersuchung der Raumluftqualität zurzeit nicht.

**4.2 Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte**

Entsprechend einer international anerkannten Konvention wird der 95-Perzentilwert eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet [5]. Dabei wird ohne toxikologische Bewertung angenommen, dass der in den untersuchten Räumen angetroffene und nicht zu Erkrankungen und Beschwerden Anlass gebende „Normalzustand“ allgemein akzeptiert werden kann. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Einhaltung des zugehörigen Messverfahrens und der Messstrategie. Weiterhin ist die Vergleichbarkeit des betrachteten Innenraums mit den Referenzräumen in Bezug auf die Ausstattung und Nutzung zu beachten. Zur Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte wurde das Gesamtdatenkollektiv aus den Jahren 2001 bis 2010 herangezogen (Tabelle 4). Somit konnten pro Einzelstoff zwischen 729 und 1 938 Messwerte ausgewertet wer-

Tabelle 5. Stoffe mit erhöhten Perzentilwerten.

Stoff	Zunahme der Perzentilwerte in %	
	90-Perzentil	95-Perzentil
Decamethylcyclopentasiloxan	9	32
n-Heptan	6	15
α-Pinen	24	35
Styrol	–	28
Butan-1-ol	17	16
n-Butylacetat	49	25

Tabelle 6. Stoffe mit verringerten Perzentilwerten.

Stoff	Abnahme der Perzentilwerte in %	
	90-Perzentil	95-Perzentil
1,2,4-Trimethylbenzol	39	42
2-Butoxyethanol	–	24
2-Ethylhexan-1-ol	10	10
3-Karen	–	28
Ethylacetat	6	34
Ethylbenzol	2	9
Formaldehyd	8	–
Hexanal	51	50
Limonen	6	34
Toluol	36	39
Xylol (Summe aller Isomere)	30	46

den, womit eine bessere statistische Absicherung gewährleistet ist und validere und repräsentativere Ergebnisse erhalten werden. Entgegen der international geltenden Konvention ziehen die Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen im Sinne der Prävention zur Ableitung von Referenzwerten die niedrigeren 90-Perzentile heran. Die neuen Werte sind gegenüber den bisherigen Referenzwerten aus dem Jahre 2005 auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die Unterschiede zwischen dem Gesamtkollektiv und dem Kollektiv im Zeitraum von 2006 bis 2010 kommen bei dieser Rundung nicht mehr zum Tragen. Die in Abschnitt 4.1 aufgezeigten Trends bei einzelnen Stoffen drücken sich unabhängig davon auch in den aus dem Datenzeitraum abgeleiteten Referenzwerten dieser Stoffe aus.

Aus Tabelle 4 ist zu erkennen, dass für viele Stoffe ein hoher Anteil der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegt. Die Ableitung der neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte erfolgte nur für Stoffe, bei denen weniger als 90 % der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze lagen (Ausnahme: n-Octan und n-Nonan). Für Benzol wurde aufgrund der Kanzerogenität kein IRW abgeleitet. Für Xylol werden seit 2006 die Messwerte für die Einzelisomeren angegeben. Daher wurde für das Isomergemisch kein neuer IRW abgeleitet.

Die neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte sind in **Tabelle 7** den alten Werten sowie den Richtwerten der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden gegenübergestellt.

Für die Stoffe, für die ein Richtwert von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Um-

weltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden aufgestellt wurde, liegen die ermittelten Perzentilwerte deutlich unter dem jeweiligen Richtwert I (siehe Tabelle 7).

## 5 Zusammenfassung

Das auf der Basis einer einheitlichen MGU-Messstrategie ausgewertete Datenkollektiv liefert ein repräsentatives Bild über die heutigen Raumluftkonzentrationen an Innenraumarbeitsplätzen in Deutschland. Auf der Basis 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 zugrunde liegenden 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.

Im Bereich der Unfallversicherungsträger kommt die genannte Messstrategie als MGU-Standardverfahren zum Einsatz. Die einheitlich erfassten Daten und deren zentrale Auswertung machen es auch möglich, Veränderungen im Expositions-niveau von Innenraumarbeitsplätzen zu beobachten und gegebenenfalls mit entsprechenden Maßnahmen auf eine sich aus den Daten abzuleitende Belastung der Beschäftigten zu reagieren.

### Literatur

- [1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV). BGBl. I (2004) Nr. 4, S. 2179-2189; zul. geänd. BGBl. I (2010) Nr. 38, S. 960-967.
- [2] Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900: Arbeitsplatzgrenzwerte (1/2006). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 10, S. 193-194.
- [3] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007), S. 990-1005.  
[www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/innenraumluftkontaminationen.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/innenraumluftkontaminationen.pdf)
- [4] 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.
- [5] Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ – MEGA. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode d4806
- [6] Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.: The MGU – a monitoring system for the collection and documentation of valid workplace exposure data. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 1/2, S. 43-49.
- [7] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie. Berlin: Beuth 1995.
- [8] DIN EN ISO 16000: Innenraumluftverunreinigungen. Berlin: Beuth.
- [9] Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.: VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989.  
[www.ifa-arbeitsmappedital.de/8936](http://www.ifa-arbeitsmappedital.de/8936)
- [10] Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989.  
[www.ifa-arbeitsmappedital.de/6045](http://www.ifa-arbeitsmappedital.de/6045)
- [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/FID. Berlin: Beuth 2004.
- [12] UBA-Richtwert Siloxane. Bundesgesundheitsbl. 54 (2011), S. 388-400.
- [13] UBA-Richtwert Terpene. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 46 (2003), S. 346-352.
- [14] Gesundheit und Umwelthygiene. Richtwerte für die Innenraumluft. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2011.  
[www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm](http://www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm)



Tabelle 7. Gegenüberstellung der neuen Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte, der Referenzwerte aus dem Jahre 2005 und der Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden [14].

Verbindung	Neuer Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert (IRW) in mg/m <sup>3</sup>	Referenzwert (IRW) 2005 in mg/m <sup>3</sup>	Richtwerte in mg/m <sup>3</sup>	
			RW I	RW II
TVOC	1	1		
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	0,07	–	0,2	2
<b>Alkane</b>				
n-Heptan	0,02	0,016		
n-Octan	0,01	–		
n-Nonan	0,01	–		
n-Decan	0,01	–		
n-Undecan	0,02	–		
n-Dodecan	0,01	–		
n-Tridecan	0,01	–		
n-Tetradecan	0,01	–		
n-Pentadecan	0,01	–		
n-Hexadecan	–	–		
<b>Aromatische Verbindungen</b>				
Benzol	–	0,008		
Toluol	0,04	0,064	0,3	3
Ethylbenzol	0,01	0,011		
Xylol (alle Isomere)	–	0,047		
o-Xylol	0,01	–		
m-Xylol	0,02	–		
p-Xylol	0,01	–		
1,2,3-Trimethylbenzol	–	0,005		
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01	0,019		
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	–	0,006		
Styrol	0,01	0,008	0,03	0,3
Naphthalin	–	–	0,002	0,02
Phenol	–	–		
<b>Alkohole</b>				
Butan-1-ol	0,04	0,031		
2-Ethylhexan-1-ol	0,02	0,018		
<b>Ketone</b>				
Butanon	0,01	0,016		
4-Methylpentan-2-on	–			
<b>Ester</b>				
Ethylacetat	0,02	0,02		
n-Butylacetat	0,02	0,013		
<b>Ether</b>				
2-Butoxyethanol	0,01	0,015		
2-Butoxyethylacetat	–	0,005		
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	–	0,005		
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	–	0,005		
2-Phenoxyethanol	0,01	0,005		
<b>Terpene</b>				
α-Pinen	0,02	0,018	0,2	2
Limonen	0,03	0,027	1	10
3-Karen	0,01	0,012		
(+)-Longifolen	–	–		
<b>Aldehyde</b>				
Formaldehyd	0,06	0,06		
Acetaldehyd	0,05	0,04		
Propionaldehyd	–	0,015		
Butyraldehyd	–	0,02	0,2	2
Glutaral (Glutardialdehyd)	–	0,01		
Hexanal	0,03	0,063		
Acrylaldehyd	–	0,005		
<b>Siloxane</b>				
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03	–		
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02	–		
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,06	0,052	0,4	4