

# Vorschlag zur Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten in Schulen

H.-D. Neumann, M. Buxtrup, M. Weber, N. von Hahn, D. Koppisch, D. Breuer, J.-U. Hahn

**Zusammenfassung** An Innenraumarbeitsplätzen, wie z. B. in Büros oder in Schulen, soll die Luft entsprechend der Arbeitsstättenverordnung in der Regel Außenluftqualität aufweisen. Anstelle der Außenluftqualität werden in der Praxis allerdings in der Regel statistisch abgeleitete Referenzwerte zur Beurteilung der Luftqualität herangezogen. Diese stammen jedoch häufig aus Bereichen, die eine andere Nutzung haben, was zu Verzerrungen in der Beurteilung führt. Um einen statistisch abgesicherten Überblick über Innenraumbelastungen in Schulen zu gewinnen und einen Vergleich zu bestehenden Referenzwerten für Büros ableiten zu können, wurden im Zeitraum von 2004 bis 2009 erstmals gezielt Messungen in 421 Klassenräumen von 119 Schulen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Belastungsniveau in Klassenräumen etwas niedriger ist als in Büros, wobei der Unterschied allerdings nicht gravierend ist. Außerdem liegen die ermittelten 90-Perzentile deutlich unter den verfügbaren Richtwerten I der Innenraumlufthygiene-Kommission. Aus den Ergebnissen werden Vorschläge für Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte in Schulen (Klassenraum-Referenzwerte) abgeleitet.

## Proposal for the derivation of indoor workplace reference values in schools

**Abstract** At indoor workplaces such as in offices and schools, the air should in general have outdoor air quality according to the German Workplace Ordinance. In practice however, instead of outdoor air quality, statistically derived reference values are usually referred to when assessing air quality. Unfortunately, these often come from areas that are put to a different use influencing the assessment. To obtain a statistically sound overview of indoor pollution in schools and to facilitate a comparison with existing reference values for offices, measurements in 421 classrooms at 119 schools were carried out for the first time in the period from 2004 to 2009. The results show that the pollution level in classrooms is slightly lower than that in offices, although the difference is not considerable. Furthermore, the calculated 90<sup>th</sup> percentiles are well below the available guide values I of the Indoor Air Hygiene Committee. The findings are used as a basis for proposed indoor workplace reference values in schools (classroom reference values).

## 1 Einleitung

Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft dienen im Allgemeinen die Arbeitsplatzgrenzwerte gemäß TRGS 900 [1]. Diese Grenzwerte sind für Arbeitsplät-

ze ausgelegt, an denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchgeführt werden. Wenngleich diese Arbeitsplatzgrenzwerte in der Regel toxikologisch abgeleitet sind, für gesunde Erwachsene gelten und auf eine 8-Stundenschicht bezogen sind, sind sie zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen, wie z. B. Büros, Schulen oder Kindertageseinrichtungen, ungeeignet. Hier soll die Luft stattdessen entsprechend der Arbeitsstättenverordnung [2] in der Regel Außenluftqualität aufweisen. Zur Beurteilung der Luftqualität werden allerdings in der Praxis anstelle der Außenluftqualität in der Regel statistisch abgeleitete Referenzwerte herangezogen. Diese stammen jedoch häufig aus Bereichen, die eine andere Nutzung haben, was zu Verzerrungen in der Beurteilung führt. So sind z. B. Referenzwerte, die in Wohnungen gewonnen wurden, mit denen in Klassenräumen oder Büros nicht vergleichbar.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden hat im Jahre 2007 zur Beurteilung der Innenraumluftqualität folgende Bewertungsrangfolge empfohlen [3]: Zunächst sind die von der Arbeitsgruppe für einzelne Substanzen oder Substanzgruppen toxikologisch abgeleiteten Innenraumrichtwerte heranzuziehen, die für Personen jeden Alters und unabhängig vom Gesundheitszustand der Raumnutzer gelten. Diese Werte sind auf eine Expositionszeit von 24 Stunden ausgelegt. Für Stoffe, für die es bislang keine Richtwerte gibt, können statistisch abgeleitete Referenzwerte zur Bewertung herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass im Gegensatz zu den Richtwerten bei Heranziehung der Referenzwerte keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung möglich ist. Eine Unterschreitung der Referenzwerte bedeutet 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.

Referenzwerte für Büros wurden erstmals im Jahre 2004 – basierend auf Messdaten der Unfallversicherungsträger – vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA, ehemals BIA) veröffentlicht [4]. Im Jahr 2010 wurden die bis dahin in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [5] für Büros dokumentierten Messdaten erneut statistisch ausgewertet, um daraus aktuelle Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte abzuleiten [6].

Um einen statistisch abgesicherten Überblick über Innenraumbelastungen in Schulen gewinnen und einen Vergleich zu bestehenden Referenzwerten für Büros ableiten zu können, führten die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen und ihre Vorgängerinstitutionen im Zeitraum von 2004 bis 2009 mit dem gleichen Messverfahren umfangreiche Messungen in zufällig ausgewählten, nicht belasteten Klassenräumen durch. 2011 wurden dann auch die so gewonnenen Mess-

Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann, Martin Buxtrup,  
Dr. rer. nat. Martin Weber,

Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Dr. rer. nat. Nadja von Hahn,  
Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch,  
Dr. rer. nat. Dietmar Breuer,  
Dr. rer. nat. Jens-Uwe Hahn,

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



Messaufbau im Klassenraum für VOC, Aldehyde, MVOC, CO<sub>2</sub>, Raumklima und Lärm.

daten aus Klassenräumen in gleicher Weise statistisch ausgewertet. Ein unmittelbarer Vergleich der Messdaten mit denen in Büros ist somit möglich.

## 2 Methode

### 2.1 Datenerhebung

Die im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) [7] für die Bedürfnisse der Unfallversicherungsträger entwickelte Messstrategie für Innenraumarbeitsplatzmessungen [4] basiert auf der Richtlinienreihe VDI 4300 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“ [8] und auf der Normenreihe DIN EN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ [9].

Vor der Messung werden die Klassenräume intensiv 15 min gelüftet. Anschließend werden alle Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens acht Stunden, in der Regel über Nacht, geschlossen. Die Probenahme erfolgt im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Die Klassenräume sind dabei nicht belegt.

Die Messungen erfolgen in Räumen für den allgemeinbildenden Unterricht, in denen es keine Beschwerden über eine unzureichende Luftqualität gibt. Fachräume wie z. B. für den Chemie- oder Physikunterricht oder das Fach Technik sind in dem Datenkollektiv nicht enthalten. Der Messort liegt in der Regel auf der Mittelachse des Klassenraumes in Höhe der letzten Tischreihe (siehe Bild).

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) sowie Formaldehyd/Aldehyde werden nach MGU-Standardverfahren [10; 11] bestimmt. Randbedingungen der Messung, wie z. B. Lage des Gebäudes, Renovierung, Mobiliar, Nutzung, das Raumklima sowie die vorherrschende Lüftungssituation, werden zusätzlich erfasst.

Zur Bestimmung der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Luft am Arbeitsplatz werden Thermodesorptionsröhrchen ATD TENAX® TA beaufschlagt. Die Probenahmezeit beträgt 30 min bei einem Luftvolumenstrom von 4 l/h. Die gesammelten Proben werden auf den Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen untersucht. Die Analyse erfolgt nach thermischer Desorption qualitativ mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS) und quantitativ mit Flammenionisationsdetektion (FID). Der Bereich der gemessenen Stoffe ist in Anlehnung an DIN ISO 16000-6 [12] definiert. Danach wird ein Stoff, der

zwischen n-Hexan und n-Hexadecan einschließlich von einer unpolaren Säule eluiert, als VOC bezeichnet. Abweichend davon bestimmt das IFA zusätzlich Butanon und Ethylacetat.

Die Stoffe in **Tabelle 1** werden über eine Einzelstoffkalibrierung quantitativ analysiert. Sollten weitere Stoffe auftreten, werden diese basierend auf einer Toluolkalibrierung (Toluoläquivalent) und bei nicht kalibrierten iso-Alkan- und Cycloalkanverbindungen einer Dodecankalibrierung (Dodecanäquivalent) ausgewiesen. Die Summe aus beiden Ergebnissen wird als TVOC (total volatile organic compounds) angegeben.

Die Formaldehyd/Aldehydprobenahme erfolgt mit dem Probenräger Waters Sep-Pak. Die Probenahmezeit beträgt 30 min bei einem Luftvolumenstrom von 40 l/h. 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** aufgelisteten Aldehyde als Einzelkomponenten angegeben, wobei Hexanal im Gegensatz zu den anderen Aldehyden mit dem VOC-Verfahren bestimmt wird.

### 2.2 Datenauswertung

Zur Ableitung von Vorschlägen für Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte in Klassenräumen (Klassenraum-Referenzwerte) wurden die mit den beschriebenen Methoden erhobenen und in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [5] dokumentierten Messdaten aus den Jahren 2004 bis 2009 statistisch ausgewertet (**Tabelle 1**). Insgesamt wurden 421 Klassenräume in 119 Schulen untersucht, woraus 17 354 Analysen resultieren. Pro Einzelstoff konnten zwischen 244 und 421 Messwerte ausgewertet werden. Die unterschiedliche Zahl der ausgewerteten Messdaten pro Einzelstoff ist darauf zurückzuführen, dass die Zahl der auswertbaren Stoffe während der Messkampagne angestiegen ist.

Für Büroarbeitsplätze wurde im Jahr 2006 nach einer vorhergehenden Pilotphase in den Jahren 2001 bis 2005 ein Messprogramm für Innenraum-Arbeitsplatzmessungen im MGU etabliert. Eine erste Auswertung erfolgte für den Zeitraum von 2001 bis 2005, eine weitere für den Zeitraum von 2006 bis 2010 und für den Gesamtzeitraum. Aus dem Gesamtdatenbestand wurden aktuelle Innenraumreferenzwerte (IRW) für Büroarbeitsplätze abgeleitet [6].

Entsprechend einer international anerkannten Konvention wird der 95-Perzentilwert eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet [3]. 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. Entgegen der international geltenden Konvention ziehen die Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen im Sinne der Prävention zur Ableitung von Referenzwerten jedoch die niedrigeren 90-Perzentile heran. Die Werte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet. Um zu vermeiden, dass die Referenzwerte nur von der Höhe der Bestimmungsgrenze bestimmt werden, werden nur für die Stoffe Referenzwerte abgeleitet, für die weniger als 90 % der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Einhaltung des zugehörigen Messverfahrens und der Messstrategie. Weiterhin ist die Ver-

Tabelle 1. Statistische Auswertung der Messwerte in Klassenräumen für den Zeitraum 2004 bis 2009.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Schulen	Höchste a. B. * in mg/m <sup>3</sup>	Werte < a. B. *		Konzentrationen in mg/m <sup>3</sup>	
				Anzahl	%	90-Perzentil	95-Perzentil
TVOC	414	119	0,063	44	10,6	0,680	0,958
aliphatische Kohlenwasserstoffgemische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	305	84	0,076	264	86,6	0,0315 +	0,0722 +
<b>Alkane</b>							
n-Heptan	418	119	0,008	314	75,1	0,012	0,019
n-Octan	304	84	0,019	292	96,1	a. B. !	a. B. !
n-Nonan	305	84	0,019	296	97,0	a. B. !	a. B. !
n-Decan	305	84	0,019	283	92,8	a. B. !	0,006 +
n-Undecan	305	84	0,019	250	82,0	0,009 +	0,017 +
n-Dodecan	305	84	0,019	266	87,2	0,007 +	0,011 +
n-Tridecan	305	84	0,019	273	89,5	0,007 +	0,010 +
n-Tetradecan	305	84	0,019	282	92,5	a. B. !	0,010 +
n-Pentadecan	305	84	0,019	288	94,4	a. B. !	0,007 +
n-Hexadecan	305	84	0,019	294	96,4	a. B. !	a. B. !
<b>Aromaten</b>							
Benzol	411	119	0,019	395	96,1	a. B. !	a. B. !
Toluol	420	119	0,008	121	28,8	0,025	0,036
Ethylbenzol	421	119	0,019	353	83,8	0,007 +	0,011 +
Xylol (alle Isomere)	115	37	0,008	74	64,3	0,017	0,020
o-Xylol	304	84	0,019	287	94,4	a. B. !	0,006 +
m-Xylol	306	84	0,019	237	77,5	0,008 +	0,01 +
p-Xylol	306	84	0,019	293	95,8	a. B. !	a. B. !
1,2,3-Trimethylbenzol	420	119	0,019	419	99,8	a. B. !	a. B. !
1,2,4-Trimethylbenzol	421	119	0,019	371	88,1	0,006 +	0,008 +
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	421	119	0,019	420	99,8	a. B. !	a. B. !
Styrol	421	119	0,008	322	76,5	0,009	0,015
Naphthalin	309	85	0,019	303	98,1	a. B. !	a. B. !
Phenol	403	115	0,008	324	80,4	0,013	0,017
<b>Alkohole</b>							
Butan-1-ol	387	112	0,019	168	43,4	0,026	0,039
2-Ethylhexan-1-ol	389	112	0,008	126	32,4	0,020	0,033
<b>Ketone</b>							
Butanon	395	113	0,019	329	83,3	0,012 +	0,021
<b>Ester</b>							
Ethylacetat	421	119	0,019	340	80,8	0,009 +	0,021
n-Butylacetat	420	119	0,008	348	82,9	0,010	0,018
<b>Ether</b>							
2-Butoxyethanol	389	112	0,008	240	61,7	0,021	0,038
2-Butoxyethylacetat	421	119	0,019	419	99,5	a. B. !	a. B. !
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	338	95	0,019	231	68,3	0,025	0,035
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	419	117	0,019	410	97,9	a. B. !	a. B. !
2-Phenoxyethanol	337	94	0,019	239	70,9	0,019 +	0,033
<b>Terpene</b>							
α-Pinen	416	119	0,019	291	70,0	0,016 +	0,034
Limonen	420	119	0,019	241	57,4	0,019 +	0,033
3-Karen	421	119	0,019	367	87,2	0,007 +	0,017 +
(+)-Longifolen	247	68	0,007	240	97,2	a. B. !	a. B. !
<b>Aldehyde</b>							
Formaldehyd	382	110	0,03	125	32,7	0,057	0,070
Acetaldehyd	345	101	0,05	286	82,9	0,050 +	0,060
Propionaldehyd	332	97	0,05	330	99,4	a. B. !	a. B. !
Butyraldehyd	332	97	0,05	332	100	a. B. !	a. B. !
Glutaral (Glutardialdehyd)	332	97	0,05	332	100	a. B. !	a. B. !
Hexanal	409	116	0,006	187	45,7	0,021	0,036
Acrylaldehyd	332	97	0,03	332	100	a. B. !	a. B. !
<b>Siloxane</b>							
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	247	68	0,014	81	32,8	0,034	0,048
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	244	68	0,006	140	57,4	0,024	0,032
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	420	118	0,019	228	54,3	0,019 +	0,023

\* 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 analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

Tabelle 2. Die 15 Stoffe mit den höchsten 90-Perzentilen.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Schulen	Werte < a. B. *		90-Perzentil in mg/m <sup>3</sup>
			Anzahl	%	
<b>TVOC</b>	<b>414</b>	<b>119</b>	<b>44</b>	<b>10,6</b>	<b>0,680</b>
Formaldehyd	382	110	125	32,7	0,057
Acetaldehyd	345	101	286	82,9	0,050
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	247	68	81	32,8	0,034
aliphatische Kohlenwasserstoffgemische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	305	84	264	86,6	0,032
Butan-1-ol	387	112	168	43,4	0,026
Toluol	420	119	121	28,8	0,025
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	338	95	231	68,3	0,025
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	244	68	140	57,4	0,024
2-Butoxyethanol	389	112	240	61,7	0,021
Hexanal	409	116	187	45,7	0,021
2-Ethylhexan-1-ol	389	112	126	32,4	0,020
2-Phenoxyethanol	337	94	239	70,9	0,019
Limonen	420	119	241	57,4	0,019
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	420	118	228	54,3	0,019
α-Pinen	416	119	291	70,0	0,016

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

gleichbarkeit des betrachteten Innenraums mit den Referenzräumen in Bezug auf die Ausstattung und die Nutzung zu beachten.

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Messwerte in Klassenräumen für den Zeitraum von 2004 bis 2009 sind Tabelle 1 zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass für viele Stoffe ein hoher Anteil der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegt.

Auch sonst ist das Belastungsniveau insgesamt niedrig. Nur bei elf der 45 Einzelstoffe liegt das 90-Perzentil oberhalb von 20 µg/m<sup>3</sup> (Tabelle 2), wobei hierbei auch Einzelstoffe wie

Acetaldehyd und die aliphatischen Kohlenwasserstoffe (C<sub>9</sub> bis C<sub>14</sub>) berücksichtigt sind, für die nur wenige Messwerte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze vorliegen. Nur bei sechs Stoffen liegen die Messwerte zu mehr als 50 % oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (Tabelle 5). Von größerer Relevanz für die Luft in Klassenräumen sind insofern weniger als zehn Einzelstoffe. Bis auf Acetaldehyd und aliphatische Kohlenwasserstoffe (C<sub>9</sub> bis C<sub>14</sub>) zählen die Stoffe mit den höchsten 90-%-Werten auch zu den 15 am häufigsten nachgewiesenen Stoffen, bezogen auf die Zahl der Nachweise. Xylol (alle Isomere) ist bei der Betrachtung der relativen Zahl der Nachweise wegen der geringen Zahl der Messungen ausgenommen.

Tabelle 3. Die 15 am häufigsten nachgewiesenen Stoffe bezogen auf die Zahl der Nachweise.

Verbindung	Anzahl Messwerte	Anzahl Schulen	Werte < a. B. *		90-Perzentil in mg/m <sup>3</sup>
			Anzahl	%	
<b>TVOC</b>	<b>414</b>	<b>119</b>	<b>44</b>	<b>10,6</b>	<b>0,680</b>
Toluol	420	119	121	28,8	0,025
2-Ethylhexan-1-ol	389	112	126	32,4	0,020
Formaldehyd	382	110	125	32,7	0,057
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	247	68	81	32,8	0,034
Butan-1-ol	387	112	168	43,4	0,026
Hexanal	409	116	187	45,7	0,021
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	420	118	228	54,3	0,019
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	244	68	140	57,4	0,024
Limonen	420	119	241	57,4	0,019
2-Butoxyethanol	389	112	240	61,7	0,021
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	338	95	231	68,3	0,025
α-Pinen	416	119	291	70,0	0,016
2-Phenoxyethanol	337	94	239	70,9	0,019
n-Heptan	418	119	314	75,1	0,012
Styrol	421	119	322	76,5	0,009

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

Tabelle 4. Gegenüberstellung der Vorschläge für Klassenraum-Referenzerte, der Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte für Büroarbeitsplätze und der Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden [13].

Verbindung	Vorschlag für Klassenraum-Referenzwerte in mg/m <sup>3</sup>	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert (IRW) in mg/m <sup>3</sup> für Büroarbeitsplätze	Richtwerte in mg/m <sup>3</sup>	
			RW I	RW II
TVOC	0,68	1		
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C <sub>9</sub> bis C <sub>14</sub> )	0,03	0,07	0,2	2
<b>Alkane</b>				
n-Heptan	0,01	0,02		
n-Octan	–	0,01		
n-Nonan	–	0,01		
n-Decan	–	0,01		
n-Undecan	0,01	0,02		
n-Dodecan	0,01	0,01		
n-Tridecan	0,01	0,01		
n-Tetradecan	–	0,01		
n-Pentadecan	–	0,01		
n-Hexadecan	–	–		
<b>Aromatische Verbindungen</b>				
Benzol	–	–		
Toluol	0,03	0,04	0,3	3
Ethylbenzol	0,01	0,01		
Xylol (alle Isomere)	0,02	–		
o-Xylol	–	0,01		
m-Xylol	0,01	0,02		
p-Xylol	–	0,01		
1,2,3-Trimethylbenzol	–	–		
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01	0,01		
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	–	–		
Styrol	0,01	0,01	0,03	0,3
Naphthalin	–	–	0,002	0,02
Phenol	0,01	–		
<b>Alkohole</b>				
Butan-1-ol	0,03	0,04		
2-Ethylhexan-1-ol	0,02	0,02		
<b>Ketone</b>				
Butanon	0,01	0,01		
4-Methylpentan-2-on	–	–		
<b>Ester</b>				
Ethylacetat	0,01	0,02		
n-Butylacetat	0,01	0,02		
<b>Ether</b>				
2-Butoxyethanol	0,02	0,01		
2-Butoxyethylacetat	–	–		
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,03	–		
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	–	–		
2-Phenoxyethanol	0,02	0,01		
<b>Terpene</b>				
α-Pinen	0,02	0,02	0,2	2
Limonen	0,02	0,03	1	10
3-Karen	0,01	0,01		
(+)-Longifolen	–	–		
<b>Aldehyde</b>				
Formaldehyd	0,06	0,06		
Acetaldehyd	0,05	0,05		
Propionaldehyd	–	–		
Butyraldehyd	–	–	0,2	2
Glutaral (Glutardialdehyd)	–	–		
Hexanal	0,02	0,03		
Acrylaldehyd	–	–		
<b>Siloxane</b>				
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03	0,03		
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02	0,02		
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,02	0,06	0,4	4



Die aus den Ergebnissen abgeleiteten Vorschläge für Klassenraum-Referenzwerte sind **Tabelle 4** zu entnehmen. Ferner sind die Werte dort auch den Innenraumreferenzwerten für Büroarbeitsplätze sowie den jeweiligen Richtwerten der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden gegenübergestellt [13].

#### 4 Diskussion

Wie man **Tabelle 1** entnehmen kann, liegen in Klassenräumen insgesamt weniger Substanzen oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze als an Büroarbeitsplätzen. Dies wird auch durch den TVOC-Wert in Höhe von 0,680 mg/m<sup>3</sup> deutlich, der allerdings dem TVOC-Wert in Büros im Messzeitraum von 2006 bis 2010 in Höhe von 0,740 mg/m<sup>3</sup> nahekommt [6]. Der Unterschied mag unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass bei der Auswertung der Büroräume belastete Räume mit berücksichtigt wurden.

Deutlich ist der Unterschied für aliphatische Kohlenwasserstoffe (C<sub>9</sub> bis C<sub>14</sub>), die in Klassenräumen nur selten nachgewiesen wurden und deren Referenzwert weniger als die Hälfte dessen in Büros entspricht. Sie werden u. a. als Lösungsmittel in Farben, Lacken und anderen Beschichtungsmitteln sowie zur Bodenpflege und als Möbelpolitur eingesetzt. Auch Wasserlacke enthalten sie als Nebenbestandteil [14].

Auch der Wert für Decamethylcyclopentasiloxan ist in Klassenräumen deutlich niedriger als in Büros. Decamethylcyclopentasiloxan ist in zahlreichen Produkten des täglichen Lebens, z. B. in Haar- und Körperpflegemitteln, Kosmetika sowie in Wasch- und Reinigungsmitteln, Möbelpolituren, Fugendichtmassen, Farben, Lacken, Papiermaterialien oder Textilien, enthalten [15]. Eine mögliche Ursache für den Unterschied mag darin zu sehen sein, dass die Klassenräume während der Probenahme unbenutzt waren. Aber auch Ausstattungsunterschiede können eine Rolle spielen. So sind Klassenräume nur selten mit textilen Bodenbelägen ausgestattet. Die häufigsten Bodenbelagsarten sind Linoleum, PVC und Kautschuk.

Ein deutlicher Unterschied zeigt sich auch bei 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, der als Referenzwert für Büros nicht erscheint. Die Substanz ist u. a. Bestandteil von lösemittelarmen Systemen wie Wasserlacken, Dispersionsfarben und Dispersionsklebern sowie von Mitteln zur Oberflächenreinigung. Vergleichbar sind dagegen die Referenzwerte für Aldehyde. Insgesamt ist festzustellen, dass kein gravierender Unterschied der Werte in Klassenräumen und in Büros zu verzeichnen ist.

Für Stoffe, für die ein Richtwert von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden aufgestellt wurde, liegen die ermittelten Per-

**Tabelle 5.** Vergleich von 90-Perzentilen in Klassenräumen mit 90-Perzentilen in Verdachtsräumen [16].

Verbindung	90-Perzentil für Klassenräume in mg/m <sup>3</sup>	90-Perzentil für Verdachtsräume in mg/m <sup>3</sup>
TVOC	0,680	1,490
<b>Alkane</b>		
n-Heptan	0,012	0,020
<b>Aromaten</b>		
Toluol	0,025	0,156
Phenol	0,013	0,005
<b>Alkohole</b>		
Butan-1-ol	0,026	0,066
2-Ethylhexan-1-ol	0,020	0,012
<b>Ether</b>		
2-Butoxyethanol	0,021	0,110
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,025	0,035
<b>Terpene</b>		
α-Pinen	0,016	0,118
Limonen	0,019	0,095
<b>Aldehyde</b>		
Hexanal	0,021	0,064
<b>Siloxane</b>		
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,034	0,008
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,024	0,022
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,019	0,014

zentile deutlich unter dem jeweiligen Richtwert I (siehe **Tabelle 4**).

Die Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass sowohl in Schulen als auch an Büroarbeitsplätzen zunehmend auf die Verwendung schadstoffarmer Produkte geachtet wird. Vor allem beim Einsatz von Lacken und Farben werden heutzutage sogenannte lösemittelfreie Produkte eingesetzt. Sie enthalten anstelle der hier erfassten VOC vermehrt schwerer flüchtige organische Verbindungen (semi volatile organic compounds, SVOC), die über einen wesentlich längeren Zeitraum an die Raumluft abgegeben werden. Diese Stoffe werden zurzeit bei der Routineanalytik zur Untersuchung der Raumluftqualität nicht erfasst [6].

Auch zeigt sich, dass unterschiedliche Nutzung und Ausstattung von Räumen Einfluss auf das VOC-Spektrum hat, wenngleich der Unterschied zwischen Klassenräumen und Büros nicht so gravierend ist.

Problematisch ist dagegen der Vergleich der so gewonnenen Werte mit Hintergrundwerten, die mit anderen Messverfahren ermittelt wurden, aus anderen Bereichen oder Zeiträumen stammen bzw. in Verdachtsräumen gemessen wurden. Ein Beispiel hierfür ist **Tabelle 5** zu entnehmen, in der den in Klassenräumen häufig gemessenen VOC die 90-Perzentile einer Untersuchung in verschiedenen Verdachtsräumen aus den Jahren 1995 bis 1998 gegenübergestellt sind. Es handelt sich um 458 Untersuchungen der Gesellschaft für Umweltchemie (GFU) [16]. Die Probenahme erfolgte an Aktivkohle vom Typ NIOSH für un- bis mittelpolare VOC bzw. mithilfe von Probenahmeröhrchen vom Typ Anasorb 747 für polare VOC. Die Übersicht zeigt, dass für acht von 13 Stoffen die Konzentration in den Verdachtsräumen höher liegt als in unbelasteten Klassenräumen. Allein der TVOC-Wert der Verdachtsräume, der mehr als doppelt so hoch ist wie in den Klassenräumen, verdeutlicht, dass ein solcher Vergleich nicht zulässig ist.

## 5 Zusammenfassung

Zum Vergleich von Innenraumbelastungen an Büroarbeitsplätzen und in Klassenräumen im allgemeinbildenden Unterricht wurden in Nordrhein-Westfalen in 119 Schulen und 421 Klassenräumen ohne Beschwerde hintergrund Messungen auf VOC und Aldehyde durchgeführt. Das ausgewertete Datenkollektiv in Klassenräumen auf der Basis einer einheitlichen MGU-Messstrategie liefert einen Vorschlag zur Beurteilung der Innenraumluft in Klassenräumen. Die Werte können zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplatz-Belastungen nur bei Anwendung der zugrunde liegenden

Messstrategie und der Messverfahren herangezogen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Belastungsniveau in Klassenräumen etwas niedriger ist als in Büros, wobei der Unterschied allerdings nicht gravierend ist. Die ermittelten 90-Perzentile liegen deutlich unter den verfügbaren Richtwerten I, die von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden aufgestellt wurden. Aus den Ergebnissen wurden Vorschläge für Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte in Schulen (Klassenraum-Referenzwerte) abgeleitet.

### Literatur

- [1] Technische Regel für Gefahrstoffe (TGRS) 900: Arbeitsplatzgrenzwerte (Ausg. 1/2006). BArBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 10, S. 193-194.
- [2] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV). BGBl. (2004) Nr.4, S. 2179–2189; zul. geänd. BGBl. I (2010) Nr. 38, S. 960-967.
- [3] 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.
- [4] *Schlechter, N.; Pohl, K.; Barig, A.; Kupka, S.; Kleine, H.; Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Lichtenstein, N.; Henning, 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] *von Hahn, N.; Van Gelder, R.; Breuer, D.; Hahn, J.-U.; Gabriel, S.; Kleine, H.*: Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 7/8, S. 314-322.
- [7] *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.
- [8] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie. Berlin: Beuth 1995.
- [9] DIN EN ISO 16000: Innenraumluftverunreinigungen. Berlin: Beuth 2006.
- [10] *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](http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8936)
- [11] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.*: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffe. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. [www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045](http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045)
- [12] 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.
- [13] Gesundheit und Umwelthygiene. Richtwert für die Innenraumluft. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2011. [www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumthygiene/richtwerte-irluft.htm](http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumthygiene/richtwerte-irluft.htm)
- [14] *Sagunski, H.; Mangelsdorf, I.*: Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatische Kohlenwasserstoffgemische (C<sub>9</sub>-C<sub>14</sub>). Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 48 (2005) Nr. 7, S. 803-812.
- [15] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Richtwerte für zyklische Dimethylsiloxane. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 54 (2011) Nr. 3, S. 388-400.
- [16] *Scholz, H.*: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: Gebäudestandard 2000 – Energie und Raumqualität. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e. V., Springe-Eldagsen 1998.