



Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein

Teil 2: Containerbauten für Schulen und Kindergärten

Herausgeber:
Ministerium für Soziales, Arbeit und Gesundheit,
des Landes Schleswig-Holstein
Adolf-Westphal-Str. 4
24143 Kiel

in Zusammenarbeit mit dem
Landesamt für soziale Dienste
des Landes Schleswig-
Brunswiker Str. 4
24105 Kiel

Ansprechpartnerin:
Gudrun Petzold
Tel. 0431/988-5421

ISSN 0935-4379

Juli 2011

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Diese Broschüre wurde aus Recyclingpapier hergestellt.

Die Landesregierung im Internet:
www.landesregierung.schleswig-holstein.de

Die vorliegende Studie wurde vom Landesamt für soziale Dienste des Landes Schleswig-Holstein, Dezernat Umweltbezogener Gesundheitsschutz, durchgeführt. Ansprechpartner für weiterführende Fragen sind
Dr. Birger Heinzow, Tel. 0431-988-4330 und
Dr. Guido Ostendorp, Tel. 0431-988-4322

Inhalt

Kurzfassung.....	4
Verzeichnis der Abkürzungen und Fachbegriffe.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Untersuchungsmethoden.....	7
2.1 Probenahme.....	7
2.2 Analytik.....	7
2.3 Auswertung.....	7
3 Allgemeine statistische Angaben.....	8
3.1 Statistische Kennwerte.....	8
4 Auswertung der (V)VOC-Messungen.....	10
4.1 Vergleich der (V)VOC-Belastung mit konventionellen Bauten.....	10
4.2 Belastung von Containerräumen mit Aldehyden und Aceton.....	14
5 Raumlufthygienische Bewertung der untersuchten Proben.....	17
5.1 Vorliegen von Richtwertüberschreitungen.....	17
5.2 Grenzwertüberschreitungen bei Formaldehyd.....	17
5.2 Einstufung nach dem TVOC-Konzept.....	18
6 Kohlendioxid-Konzentrationen in Containerräumen.....	20
7 Maßnahmen bei erhöhten VOC-Konzentrationen.....	24
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	25
9 Literatur.....	26
10 Anhang.....	27

Kurzfassung

In der vorliegenden Studie wurde die Belastung der Innenraumluft von 41 Containerklassenräumen mit flüchtigen und einigen leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC bzw. VVOC) einschließlich Formaldehyd untersucht. Ferner wurde über mindestens einen Unterrichtstag hinweg die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration (CO_2) als Maß für die allgemeine Raumluftqualität aufgezeichnet. Die Ergebnisse wurden mit den Daten der schleswig-holsteinischen Schul- und Kindergartenstudie aus den Jahren 2005 bis 2007 verglichen. Die Räume wurden an Hand des TVOC-Konzeptes und von Richtwerten für die Innenraumluft bewertet.

Es zeigte sich, dass in Containerklassen ein ähnliches Substanzspektrum zu finden ist wie in konventionellen Räumen. Neben den klassischen Lösemitteln wie aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe werden zahlreiche Ester, Ether und Glykolverbindungen sowie verschiedene Alkohole gefunden. Die Gesamtbelastung der Raumluft mit (V)VOC ist etwas höher als in konventionellen Räumen. Allerdings wurden lediglich 11 Überschreitungen von Zielwerten (Richtwert I) festgestellt. Diese betrafen insbesondere die Aldehyde (6 Fälle). Überschreitungen von Eingriffswerten (Richtwerte II) gab es nicht. Die Formaldehyd-Konzentration war höher als die üblichen Hintergrundwerte. Zu einer Überschreitung des Grenzwertes von 0,1 ppm bzw. $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kam es jedoch nur in 2 Fällen. Nachmessungen unter Nutzungsbedingungen ergaben, dass in allen Fällen die erhöhten Konzentrationen von VOC oder Formaldehyd durch regelmäßiges und ausreichendes Lüften auf ein unproblematisches Maß reduziert werden konnten.

Etwa 90 % der untersuchten Räume wiesen unter worst-case-Bedingungen Summenkonzentrationen (TVOC) auf, die eine Einordnung in die Stufen 1 (hygienisch unbedenklich) oder 2 (hygienisch noch unbedenklich) des TVOC-Konzeptes bedeuten würden. Bei den konventionellen Räumen waren es 97 %.

Die Aufzeichnung der CO_2 -Konzentrationen zeigte, dass sehr häufig nicht hinreichend gelüftet wurde. Nur während durchschnittlich circa 40 % der Unterrichtszeit wurde der CO_2 -Leitwert von 1000 ppm (hygienisch unbedenklich) eingehalten. Zum Teil wurden über mehr als 30 % eines Unterrichtstages mehr als 2000 ppm (hygienisch inakzeptabel) gemessen.

Die Ergebnisse unterstreichen, dass die aus Gründen der Energieeinsparung wünschenswerte und notwendige Reduzierung des ungezielten Luftwechsels einhergehen muss mit der Aufklärung über Möglichkeiten des sinnvollen und ausreichenden Lüftens. Dies dient nicht nur dem allgemeinen Wohlbefinden und der Leistungssteigerung durch hinreichende Frischluftzufuhr, sondern reduziert zugleich die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen. Für die Sicherstellung einer ausreichenden und zugleich aus energetischer Sicht vernünftigen Lüftung ist die Erstellung eines Lüftungskonzeptes durch die Schule empfehlenswert. Nach der Aufstellung neuer Containerklassen sollte vor der Nutzungsaufnahme eine Messung auf flüchtige organische Verbindungen erfolgen.

Verzeichnis der Abkürzungen und Fachbegriffe

BG:

Bestimmungsgrenze - geringste mit dem gewählten Verfahren bestimmbare Konzentration

Boxplot:

Kastengrafik zur Darstellung der Verteilung und Streuung einer Reihe von Werten

DNPH:

Dinitrophenylhydrazin

Emission:

Abgabe Luft verunreinigender Stoffe in die Umgebung

Interquartilsabstand:

Statistische Kenngröße zur Beschreibung der Streuung innerhalb einer Wertereihe

Median:

50-stes Perzentil, Zentralwert - statistische Kenngröße, die von der Hälfte der Werte über-, von der anderen Hälfte der Werte unterschritten wird

NIOSH:

National Institute of Occupational Safety and Health - amerikanisches Institut für Arbeitssicherheit und Gesundheit

NL:

Normliter, Volumen bezogen auf eine Lufttemperatur von 0 °C und einen Luftdruck von 1013 Hektopascal

OSB:

oriented strand board (englisch) - Grobspanplatte aus ausgerichteten Spänen

Perzentil:

Prozentrang - statistische Kenngröße, die von der angegebenen Prozentzahl der Werte unter-, von den übrigen Werten überschritten wird

ppm:

Parts per million („Teile einer Million“, relative Maßeinheit)

RW I / RW II:

Richtwert I (= Zielwert), Richtwert II (= Eingriffswert); Konzentrationswerte für flüchtige Schadstoffe in der Innenraumluft mit empfehlendem Charakter

TVOC:

Total Volatile Organic Compounds (englisch) - Gesamtmenge flüchtiger organischer Verbindungen

U-Test:

Mann-Whitney-Test - statistisches Verfahren zur Überprüfung der Übereinstimmung zweier Wertereihen

VOC:

Volatile Organic Compounds (englisch) - flüchtige organische Verbindungen

VVOC:

Very Volatile Organic Compounds (englisch) - leichtflüchtige organische Verbindungen

µg/m³:

Konzentrationsangabe in Millionstelgramm pro Kubikmeter (entspricht 1000 Liter)

°C:

Temperaturangabe in Grad Celsius

l/min:

Volumenstrom in Litern pro Minute

1 Einleitung

Das Dezernat „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ im Landesamt für soziale Dienste des Landes Schleswig-Holstein hat unter anderem auch die Aufgabe, die Belastung der Bevölkerung durch Schadstoffe festzustellen. Im Rahmen dieser Aufgabe wurden zum Schutz von Kindern vor flüchtigen organischen Verbindungen (VOC = volatile (flüchtige) organische Chemikalien, z.B. Lösemittel) in Schleswig-Holstein in einer Referenzwertstudie aktuelle Hintergrundwerte der Innenraumluftkonzentrationen von VOC in 285 Räumen von Schulen und Kindergärten ermittelt [1].

Eine Sonderstellung unter den Schulgebäuden nehmen die so genannten Containerklassen ein. Diese bestehen aus fertig eingerichteten Stahlcontainern in Leichtbauweise. Auf Grund der gänzlich andersartigen Konstruktion weisen diese Container-Gebäude bauliche Eigenheiten auf, die sie von üblichen Gebäuden unterscheiden.

- Die Bauzeit ist gering, der Erstbezug erfolgt relativ kurzfristig.
- Wände, Decke und Fußboden bestehen raumseitig aus beschichteten Holzwerkstoffen (OSB-Platten, Spanplatten).
- Diffusionsdichte Bleche bilden die Außenseite von Wänden, Decke und Fußboden.

- Bedingt durch geringere Deckenhöhen ist das Raumvolumen im Vergleich zu konventionellen Schulzimmern gleicher Fläche geringer.

Bislang liegen nur wenige beziehungsweise keine gezielten Untersuchungen derartiger Gebäude hinsichtlich der Raumlufqualität und deren gesundheitlicher Bewertung vor.

In Zusammenarbeit mit den Gesundheitsbehörden der Kreise und kreisfreien Städte und den jeweiligen Schulträgern wurden deshalb in Ergänzung unserer Studie zum Vorkommen von Luftschadstoffen in Schulen und Kindergärten [1] speziell Containerklassenräume untersucht.

Der Untersuchungsumfang umfasst neben den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC - englisch Volatile Organic Compounds) auch verschiedene leicht flüchtige organische Verbindungen (VVOOC - Very Volatile Organic Compounds), darunter Formaldehyd.

Ferner wurde in den Räumen über mindestens einen Unterrichtstag hinweg die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration aufgezeichnet und ausgewertet.

2 Untersuchungsmethoden

2.1 Probenahme

Die Luftproben wurden in der Zeit von Juli 2010 bis Januar 2011 von den Gesundheitsbehörden der Kreise und der kreisfreien Städte Schleswig-Holsteins oder von Mitarbeiterinnen des LAsD genommen. Diese trafen auch die Auswahl der Objekte und erhoben die gewünschten Daten zu den Gebäuden und Räumen. Die entsprechenden Fragebögen sind in Anhang 1 wiedergegeben. Es wurden Container aus allen 15 Kreisen und kreisfreien Städten des Landes untersucht.

2.2 Analytik

Die auf Aktivkohle gesammelten VOC wurden mit Schwefelkohlenstoff / Methanol desorbiert und nach gaschromatographischer Trennung auf zwei Säulen mittels Flammenionisationsdetektor bestimmt. Details sind in [1] beschrieben.

Die Analyse der auf DNPH-Kartuschen gesammelten Aldehyde und Aceton erfolgte mittels HPLC gemäß [2]. Die Bestimmungsgrenze betrug jeweils $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Analysen wurden beim Labor IGU-Biobac, Kiel, durchgeführt.

2.3 Auswertung

Statistische Auswertungen wurden mit den Programmen SPSS 11.5 und Microsoft Excel vorgenommen. Details sind in [1] beschrieben.

Für die Bewertung der CO_2 -Konzentration in den Räumen wurden jeweils die gesamte Unterrichtszeiten, einschließlich der Pausenzeiten, herangezogen, da eine genaue Protokollführung über die An- bzw. Abwesenheit der Schülerinnen und Schüler nicht um-

Die VOC-Probenahme erfolgte aktiv durch Adsorption an Aktivkohle (Adsorptionsröhrchen Typ NIOSH). Details sind in [1] beschrieben. Die letzte Lüftung erfolgte am Abend vor der Probenahme; während der Probenahme blieben Fenster und Türen geschlossen („worst-case-Bedingungen“).

Die Probenahme für leichtflüchtige Aldehyde und Aceton erfolgte durch Adsorption an DNPH-Kartuschen (Volumen 80 l, Volumenstrom 2,0 l/min).

Die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration wurde an mindestens einem kompletten Unterrichtstag aufgezeichnet. Die Registrierung der Kohlendioxidkonzentrationen erfolgt in ein- bis fünfminütigem Rhythmus. Zum Einsatz kamen Messgeräte der Firmen Dittrich und Wöhler.

setzbar war. Dies führt zu einem systematischen Fehler, der jedoch angesichts der weiten Schwankungsbereiche im Vergleich unterschiedlicher Räume nicht ins Gewicht fällt. Offensichtlich fehlerhafte Werte, etwa durch Anhauchen der Messgeräte, wurden eliminiert. Die einzelnen Messwerte wurden den Leitwert-Kategorien der Empfehlung der Innenraumkommission [3] zugeordnet und ausgezählt.

3 Allgemeine statistische Angaben

3.1 Statistische Kennwerte

Die Studie erfolgte unter Beteiligung aller Kreise und kreisfreien Städte des Landes Schleswig-

Holstein. Insgesamt wurden 41 Räume in 20 Gebäuden untersucht (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl untersuchter Containerräume in den einzelnen Kreisen und kreisfreien Städten

Kreis / kreisfreie Stadt	Anzahl Räume	Kreis / kreisfreie Stadt	Anzahl Räume
Kiel	1	Kreis Pinneberg	3
Hansestadt Lübeck	2	Kreis Plön	2
Flensburg	4	Kreis Rendsburg-Eckernförde	5
Neumünster	1	Kreis Schleswig-Flensburg	3
Kreis Dithmarschen	6	Kreis Segeberg	2
Kreis Herzogtum Lauenburg	3	Kreis Steinburg	3
Kreis Nordfriesland	2	Kreis Stormarn	3
Kreis Ostholstein	1	Land Schleswig-Holstein gesamt	41

Die Container waren zwischen 1970 und 2010 aufgestellt worden. Der Nutzungszeitraum als Klassenraum betrug zum Zeitpunkt der Messung entsprechend zwischen wenigen Monaten und 40 Jahren, im Mittel circa fünf Jahre.

Die je Nutzerin und Nutzer zur Verfügung stehende Fläche unterscheidet sich im Durchschnitt nicht von konventionell erbauten Schulgebäuden (Tabelle 2). Die Empfehlung von mindestens 1,5 m² [3] wurde in allen Fällen eingehalten.

Die Variabilität in der Raumausstattung ist bedingt durch die Bauart gering. Die Wände bestehen durchgehend aus beschichteten Platten, der Fußboden ist weitestgehend mit Kunststoffbelag (Polyvinylchlorid) ausgestattet und nur vereinzelt mit einem Teppichboden ausgelegt.

Die Räume werden überwiegend individuell über Fenster gelüftet, vier Räume verfügten über eine ergänzende oder ausschließliche technische Lüftung.

Die Räume wurden als trocken (34 von 38 Aussagen) und staubarm (20 von 22) beschreiben, die Raumluft meist als unbelastet (17 von 23) empfunden. Häufigste Beschwerden waren stickige oder muffige Raumluft (15 von 22) und eine als zu hoch empfundene Lufttemperatur (13 von 19). Letzteres deckt sich mit den Angaben einiger Hersteller, dass die Vorgaben der Arbeitsstättenverordnung hinsichtlich der Erwärmung der Räume im Sommer von den Containern ohne zusätzliche Kühlung nicht eingehalten werden. Insgesamt gaben die NutzerInnen mehrheitlich an, mit den räumlichen Verhältnissen „eher zufrieden“ zu sein (20 von 33). In vier Räumen wurde über Kopfschmerzen, zum Teil in Verbindung mit Nasen- oder Halsreizungen geklagt.

Die Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur bei der Probenahme waren vergleichbar mit den Verhältnissen in konventionellen Bauten (Tabelle 3).

Tabelle 2: Fläche, Volumen pro Person im Vergleich

	Fläche / Person, m ²		Volumen / Person, m ³	
	Minimum	Median	Minimum	Median
Containerraum	1,5	2,3	3,9	6,2
Konventioneller Raum [2]	0,8	2,3	3,0	7,2

Tabelle 3: Lufttemperatur, Luftfeuchte im Vergleich

	Lufttemperatur, °C		Luftfeuchte, %	
	Bereich	Median	Bereich	Median
Containerraum	12-25	20	27-76	49
Konventioneller Raum [2]	12-27	21	33-80	53

4 Auswertung der (V)VOC-Messungen

4.1 Vergleich der (V)VOC-Belastung mit konventionellen Bauten

Die Tabellen 4 und 5 zeigen statistische Kenngrößen für die nachgewiesenen VOC sowie für ausgewählte Summen und Substanzklassen. Die Kenngrößen sind für alle Substanzen aller Proben angegeben. Es sollte jedoch beachtet werden, dass dabei in vielen Fällen durch die geringe Anzahl positiver Befunde sehr niedrige Kennwerte berechnet werden. Für alle untersuch-

ten Stoffe sind daher die statistischen Kennwerte bei ausschließlicher Berücksichtigung von Befunden oberhalb der Bestimmungsgrenze (BG) in Anhang 2 aufgelistet.

Die Werte sind den entsprechenden Konzentrationen aus der schleswig-holsteinischen Schul- und Kindergartenstudie gegenübergestellt [1].

Tabelle 4: Statistische Kenngrößen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Name	Containerräume				LAsD 05/07		
	%>BG	P50	P95	MAX	P50	P95	MAX
Alkane							
n-Hexan*	88	1,0	3,0	12	<1	3,0	3060
n-Heptan	63	1,0	7,0	59	1,0	5,0	33
n-Octan	49	<1	3,0	8	<1	3,0	350
n-Nonan	24	<1	4,0	14	<1	6,0	230
n-Decan	76	1,0	7,0	9	1,0	17	180
n-Undecan	73	1,0	4,0	15	1,0	17	200
n-Dodecan	73	1,0	4,0	24	1,0	8,0	55
n-Tridecan	51	1,0	7,0	21	<1	2,0	27
n-Tetradecan	76	1,0	9,0	20	1,0	2,0	15
n-Pentadecan	71	1,0	5,1	10	<1	2,0	7
n-Hexadecan	73	1,0	4,0	6	1,0	2,0	4
n-Heptadecan	39	<1	1,0	2	<1	1,0	3
3-Methylhexan*	15	<2	50,0	175	<2	2,0	52
2,3-Dimethylpentan*	10	<2	12,0	46	<2	<2	19
2,4-Dimethylpentan*	5	<2	1,0	7	<2	<2	35
2,3,4-Trimethylpentan*	17	<2	4,0	6	<2	3,0	6
2,2,4-Trimethylpentan*	5	<2	<2	7	<2	<2	6
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan*	12	<2	5,0	19	<2	<2	280
Cyclohexan	24	<1	64,7	547	<1	4,7	28
Methylcyclopentan	20	<1	1,0	5	<1	2,0	23
Methylcyclohexan	54	1,0	6,0	53	<1	3,7	145
Alkene							
5-Methylhexen-2*	12	<2	32,0	121	<2	2,0	51
1-Octen	10	<1	1,0	2	<1	<1	440
1-Decen	2	<1	<1	1	<1	1,0	22
1-Dodecen*	2	<2	<2	12	--	--	--
Alkohole							
Ethanol*	63	1,0	4,0	32	2,0	13	43
1-Propanol	83	2,0	83,0	232	<1	3,0	410
2-Propanol*	93	5,0	133,0	445	14	289	1200
1-Butanol	95	6,0	26,0	58	3,0	12	39
Isobutanol*	7	<2	2,0	4	<2	4,0	92
2-Ethyl-1-hexanol	90	6,0	22,0	42	1,0	15	175
Benzylalkohol*	5	<2	<2	5	<2	<2	260

Fortsetzung Tabelle 4: Statistische Kenngrößen, in µg/m³

Name	%>BG	P50	P95	MAX	P50	P95	MAX
Aromaten							
Benzol	5	<1	<1	1	<1	2,0	15
Toluol	95	2,0	19,0	66	2,0	18	120
m-Xylol	88	1,0	30,0	343	<1	13	130
p-Xylol	54	1,0	6,0	150	<1	9,0	79
o-Xylol	71	1,0	27,0	93	<1	5,7	70
Ethylbenzol	68	1,0	7,0	124	<1	7,7	59
Styrol	80	1,0	14,0	27	<1	4,0	18
1,2,3-Trimethylbenzol*	17	<2	5,0	18	<2	<2	20
1,2,4-Trimethylbenzol	78	1,0	21,0	109	<1	8,0	109
Mesitylen	46	<1	7,0	29	<1	2,0	26
2-Ethyltoluol	46	<1	6,0	24	<1	2,7	25
3-Ethyltoluol	59	1,0	9,0	39	<1	5,0	51
4-Ethyltoluol*	7	<2	2,0	12	<2	<2	18
n-Propylbenzol	32	<1	3,0	9	<1	2,0	29
Naphthalin	27	<1	1,0	1	<1	3,7	22
Terpene							
α-Pinen	98	17,0	116,0	499	2,0	71	200
β-Pinen	83	1,0	9,0	40	<1	8,0	24
3-Caren	90	4,0	25,0	42	1,0	23	130
Limonen	95	4,0	30,0	105	1,0	51	880
α-Terpinen*	7	<2	3,0	5	<2	<2	5
dl-Menthol*	2	<2	<2	5	<2	<2	6
Longifolen	54	1,0	2,0	3	<1	1,7	10
Aldehyde, Ketone							
Formaldehyd	93	52,3	120,0	173	--	--	--
Acetaldehyd	76	21,4	83,1	111	--	--	--
Propanal	17	<10	18,6	45	--	--	--
Butanal	63	2,0	10,0	12	<1	3,0	15
Pentanal	88	5,0	30,0	43	<1	5,0	34
Hexanal	100	11,0	63,0	75	<1	11	77
Heptanal*	10	<2	2,0	3	<2	2,0	7
Octanal*	20	<2	4,0	6	<2	2,0	10
Nonanal	88	6,0	20,0	23	<1	12	27
Benzaldehyd	83	4,0	11,0	23	<1	9,0	46
Aceton	100	68,8	1500	2230	3	45	300
Cyclohexanon	51	1,0	5,0	20	<1	1,7	12
2-Heptanon	5	<2	<2	2	<2	<2	3
Acetophenon	63	1,0	3,0	11	<1	1,0	18
Ester, Ether, Glykolderivate							
Ethylacetat*	10	<2	7,0	194	<2	<2	44
Isopropylacetat*	2	<2	<2	497	--	--	--
n-Butylacetat	71	1,0	29,0	41	<1	21	144
Diethylphthalat	5	<1	<1	1	<1	1,0	7
1,4-Dioxan*	2	<2	<2	6	--	--	--
Ethylenglykolmonomethylether	27	<1	9,0	62	<1	7,0	59
Ethylenglykolmonoethylether	5	<1	<1	8	<1	<1	88
Ethylenglykolmonobutylether	51	2,0	43,0	232	1,0	53	190

Fortsetzung Tabelle 4: Statistische Kenngrößen, in µg/m³

Name	%>BG	P50	P95	MAX	P50	P95	MAX
Phenoxyethanol	76	1,0	26,0	127	<1	16	150
2-Ethoxyethylacetat	66	2,0	6,0	13	<1	1,0	5
Diethylenglykolmonoethylether*	2	<2	<2	99	<2	16	232
Diethylenglykolmonobutylether	29	<1	11,0	70	<1	27	200
Butyldiglykolacetat	17	<1	1,0	245	<1	1,0	13
Propylenglykolmonomethylether*	10	<2	3,0	35	<2	12	120
Dipropylenglykolmonomethylether*	2	<2	<2	16	<2	<2	120
Methoxypropylacetat*	20	<2	6,0	19	<2	<2	4
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat*	2	<2	<2	10	<2	3,0	2000
Propylenglykolmonobutylether*	10	<2	3,0	11	<2	5,0	260
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiisobutyrat	34	<2	3,0	6	<1	3,0	15
Sonstige							
1,1,1-Trichlorethan	12	<1	3,0	8	<1	<1	6
1,4-Dichlorbenzol	5	<1	<1	6	<1	<1	5
1-Chlornaphthalin	10	<1	1,0	2	<1	1,0	10
Cyclopentasiloxan*	34	<2	11,0	31	<2	6,7	30
nicht ident. Kohlenwasserstoffe*	56	20,0	102,6	187	70	3010	4200

% > BG: Anteil der Werte oberhalb Bestimmungsgrenze;

P50, P95: Perzentile;

Max: Maximaler gemessener Wert;

Werte < BG sind mit der halben BG berücksichtigt;

*: Berechnet als Toluolequivalent.

Zur besseren Übersicht und Vergleichbarkeit mit anderen Studien wurden die Kennwerte chemisch verwandter Substanzen zu Klassen zusammengefasst (Tabelle 5). Ferner wurden der TVOC-Wert (englisch: „Total Volatile Organic Compounds“ [4, 5]), sowie die Summe der nachgewiesenen VOC (Σ -VOC) im gesamten untersuchten Retentionsbereich bestimmt.

Gegenübergestellt sind diesen Kennwerten wiederum die Ergebnisse der Schul- und Kindergartenstudie 2005/07. Allerdings wurden für den Vergleich dieser Summen nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

In den Bild 1 und 2 sind diese Werte anschaulich vergleichend dargestellt.

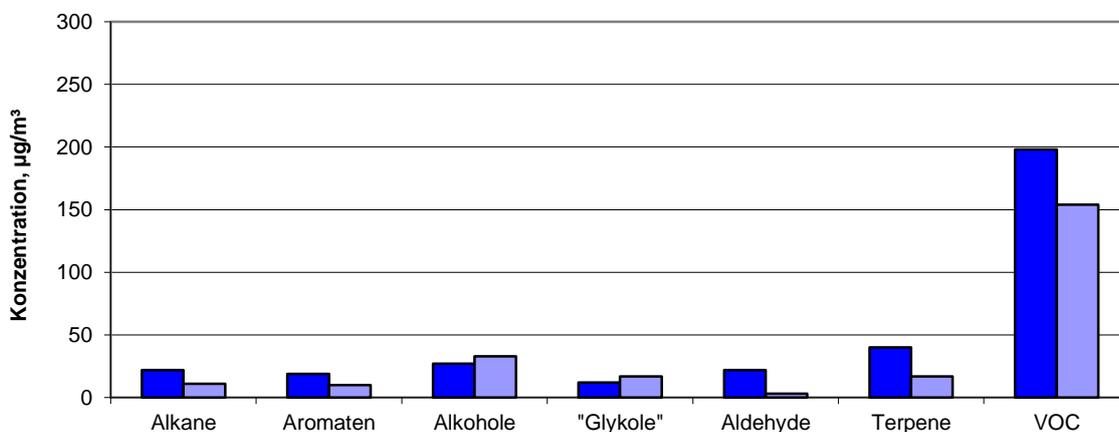
Tabelle 5: Statistische Kenngrößen für verschiedene Substanzklassen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Gruppe	Container			LAsD 2005/07			Signifikanz (U-Test)
	P50	P95	MAX	P50	P95	MAX	
Alkane (einschl. nicht identifizierte Kohlenwasserstoffe)	22	469	1107	11	196	7669	0,014
Aromaten (ohne Naphthaline)	19	165	974	10	73	518	0,017
Alkohole	27	311	527	33	371	1213	0,366
Terpene	40	212	608	17	124	917	0,004
Aldehyde (ab Butanal)	22	123	130	3	31	160	0,000
Ester, Ether, Glykolderivate	12	351	617	17	187	2113	0,447
TVOC (einschl. nicht identifizierte Kohlenwasserstoffe)	182	1544	2226	95	786	8198	0,003
Σ -VOC (einschl. nicht identifizierte Kohlenwasserstoffe, ohne Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd, Aceton)	198	1601	2230	154	941	8227	0,069

Alle Proben, nur Werte > BG berücksichtigt

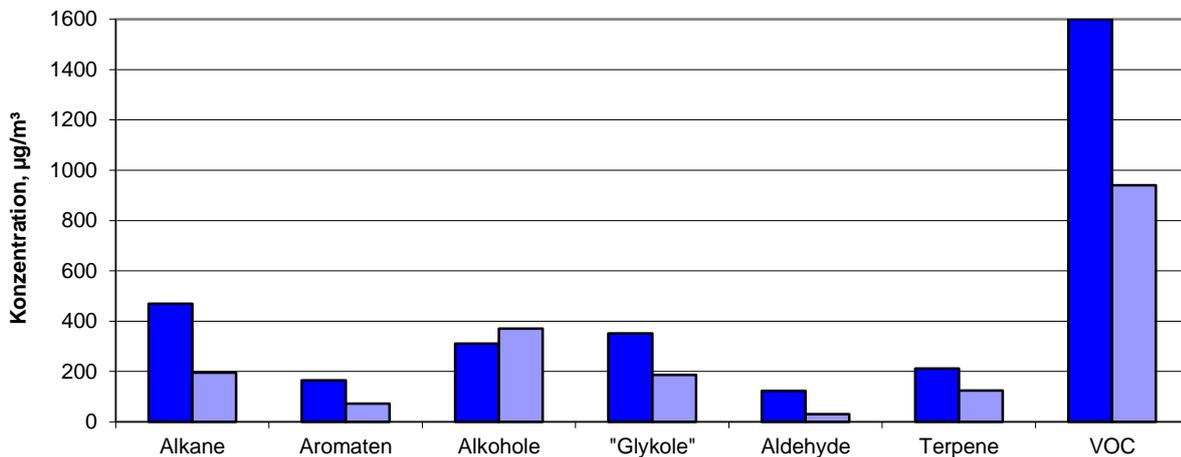
Wie Bild 1 und 2 und die Tabelle 5 zeigen, liegen für die meisten in beiden Studien untersuchten VOC-Gruppen die Konzentrationen in vergleichbarer Größenordnung, in den Containerräumen etwas höher als in konventionellen Räumen. Dies gilt ebenso für die mittleren Belastungen (Bild 1, Mediane) wie für die höchstbelasteten Räume (Bild 2, 95. Perzentile). Für

die Stoffgruppen Alkane, Aromaten, Terpene und Aldehyde ist der Unterschied statistisch signifikant. Somit bestätigen sich mit den hier durchgeführten Messungen die in der Literatur [6] genannten erhöhten Emissionen von Terpenen aus OSB- und Spanplatten.



hellblau: Konventionelle Bauten, LAsD 2005/07 [1];
dunkelblau: Containerbauten

Bild 1: Vergleich der Mediane für ausgewählte Substanzklassen



hellblau: Konventionelle Bauten, LAsD 2005/07 [1];
dunkelblau: Containerbauten

Bild 2: Vergleich der Referenzwerte für ausgewählte Substanzklassen

Anders als bei konventionellen Bauten hat Naphthalin keine besondere Bedeutung für die Luftqualität in Containerbauten.

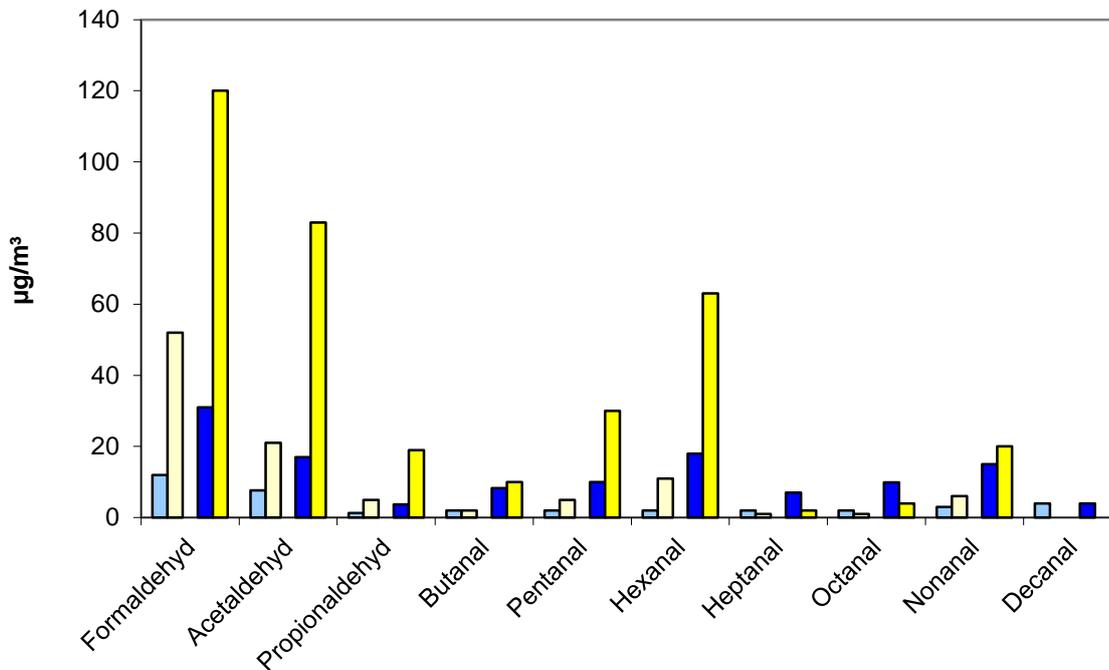
Naphthalin stellt in konventionellen Bauten zumeist eine Altlast dar, die überwiegend in Gebäuden bis zum Baujahr 1970 auftritt und aus Bitumenklebern oder Bitumenbahnen gegen aufsteigende Feuchte stammt. Beide Kriterien, Bauzeitraum und Anwendungszweck, treffen für die Container nicht zu, so dass Naphthalin praktisch nicht nachgewiesen wurde.

Sehr stark erhöhte Alkan-Konzentrationen von bis zu mehreren 1000 µg/m³ traten in konventionellen Bauten häufig als Folge der (Fehl-)Anwendung von Fußbodenbehandlungsmitteln für Holz oder Linoleum auf. Da die Container fast immer mit PVC-Fußböden, in einigen Fällen mit Teppichböden, ausgestattet sind, werden derart erhöhte Alkanbelastungen nicht beobachtet. Die Hintergrundbelastung mit Alkanen war in den Containern jedoch höher als in konventionellen Bauten.

4.2 Belastung von Containerräumen mit Aldehyden und Aceton

Die statistischen Kennwerte für die Konzentration der aliphatischen, unverzweigten, gesättigten Aldehyde einschließlich Formaldehyd sind bereits in Tabelle 3 aufgelistet. Zur besseren Übersicht wurden in Bild 3 die 50. und 95. Perzentile denjenigen Werten für konventionell erbaute Räume gegenübergestellt. Im Falle von Formaldehyd, Acetaldehyd und Propionaldehyd werden zum Vergleich die Daten von Fromme et al [6] herangezogen. Es ist ersichtlich, dass für fast alle

betrachteten Aldehyde sowohl Median als auch Referenzwert in Containerklassen höher sind als in konventionellen Gebäuden. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in den großen OSB- bzw. Spanplattenflächen zu suchen, die die Innenwände sowie Boden und Decke in Containern üblicherweise bedecken.



blau: Konventionelle Bauten, LAsD 2005/07 [1] bzw. [6]; gelb: Containerbauten
hell: Mediane; dunkel: Referenzwerte

Bild 3: Vergleich der Median- und Referenzwerte von Aldehyden

Für die Aldehyde Butanal bis Undecanal zeigt das folgende Bild 4 die Verteilung der Summenkonzentration in Containerräumen und konventionellen Gebäuden an Hand der Boxplots. Für keine andere

Stoffgruppe waren derart deutliche Unterschiede in den Konzentrationen feststellbar. Die Aldehyde stellen auch die aus gesundheitlich-hygienischer Sicht auffälligste Gruppe dar (s. Abschnitt 5.2).

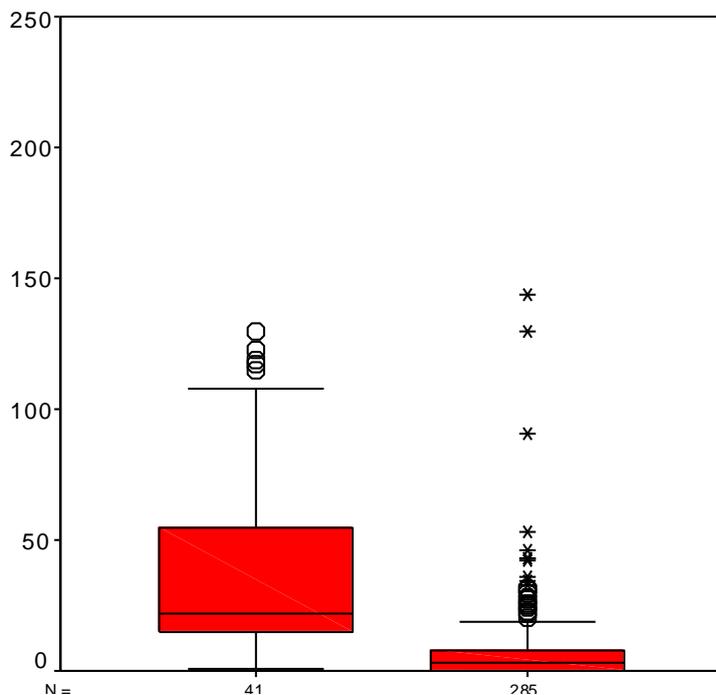


Bild 4: Boxplots für die Summe der Aldehyde C4 bis C11 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Links: Container, rechts: Konventionelle Räume.

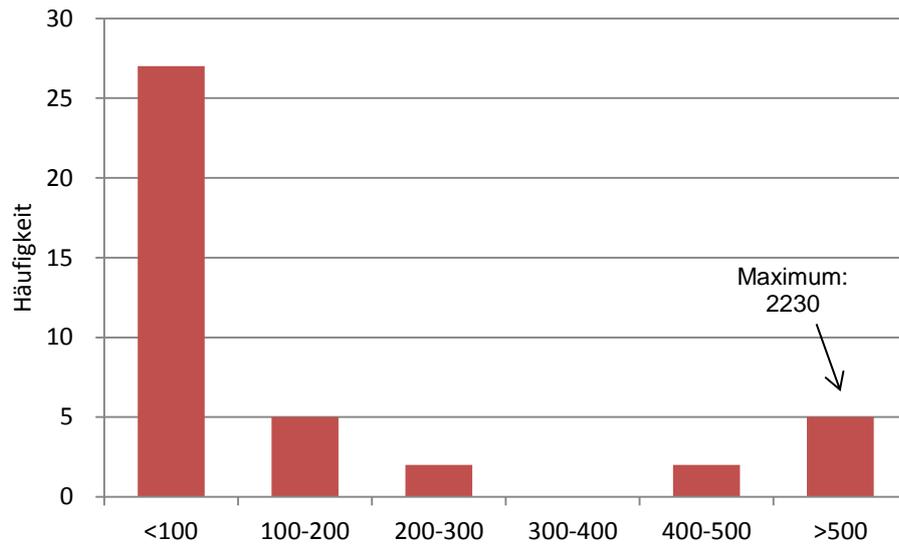


Bild 5: Histogramm für Aceton, Klassen in µg/m³

Ebenso wiesen die Containerräume erheblich höhere Acetonkonzentrationen auf als konventionelle Räume. Die Konzentrationsverteilung ist in Bild 5 dargestellt. Auffällig ist insbesondere der sehr hohe Referenzwert für Aceton von ca. 1500 µg/m³ (s. Tabelle 4) im Vergleich zu konventionellen Räumen [6]. Ohne eine aktuelle Anwendung Aceton haltiger

Mittel sind derart hohe Konzentrationen kaum plausibel erklärbar. In der Studie von Fromme et al [6] waren die Werte selbst in der ungünstigeren Winterperiode deutlich niedriger. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass dort die Probenahme unter Nutzungsbedingungen erfolgte, was zu niedrigeren Konzentrationen führen dürfte.

5 Raumlufthygienische Bewertung der Proben

Die Bewertung von Raumlufthproben kann - soweit vorliegend - über Richtwerte für einzelne Stoffe erfolgen oder anhand der im TVOC-Konzept dargestellten Gesamtbelastung (Siedebereich von n-Hexan bis n-Hexadecan) ([5]). Beide Verfahren sind von der Ad-

hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (ad-hoc-AG IRL) in [7] detailliert beschrieben worden.

5.1 Vorliegen von Richtwertüberschreitungen

Für eine Reihe von VOC oder VOC-Stoffklassen sind in den vergangenen Jahren Richtwerte (RW I und RW II) festgelegt worden [7]. In den hier untersuchten Räumen waren Überschreitungen von Eingriffswerten RW II nicht zu verzeichnen. Zielwerte RW I wurden in

7 Räumen überschritten. Es handelte sich dabei um 11 Fälle, die aliphatische Aldehyde, Benzaldehyd, Alkane, Terpene und Ethylenglykolmonomethylether-Verbindungen betrafen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Innenraum-Richtwerte für VOC im Verhältnis zum 95. Perzentil und Maximalwert

	RW I ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RW II ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konz. P 95	Konz. MAX	Anzahl > RW I
Toluol	300	3000	22	66	0
Ethylbenzol	200	2000	71	124	0
Alkylbenzole, C9 bis C15	300	3000	35	165	0
Styrol	30	300	16	27	0
Naphthalin	2	20	1	1	0
Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische, n-C9 bis n-C14	200	2000	101 ^a	262 ^a	1
Monocyclische Terpene (Leitsubstanz Limonen)	1000	10000	30	105	0
Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α -Pinen)	200	2000	150	581	2
Aldehyde, C4 bis C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	100	2000	119	130	6
Benzaldehyd	20	200	13	23	1
Benzylalkohol	400	4000	5	5	0
Ethylenglykolmonomethylether-Verbindungen*	60	600	38	62	1

a: Einschließlich nicht identifizierter Kohlenwasserstoffe im Siedebereich; * Vorschlag Ad-Hoc-AG

Bei Überschreitungen des Zielwertes (größer RW I aber kleiner RW II) wird entsprechend der Handreichung der ad-hoc AG IRL empfohlen, zunächst vermehrt und konsequent zu lüften.

Da die Probenahmen für die Studie unter „worst case“ Bedingungen (siehe Abschnitt 2.1) erfolgten, wurden

die Nachmessungen zur Prüfung, ob ein Richtwert überschritten wird, unter Nutzungsbedingungen durchgeführt [7]. Dabei zeigte sich, dass durch Lüften gesundheitlich akzeptable Raumlufthverhältnisse erreicht werden konnten.

5.2 Grenzwertüberschreitungen bei Formaldehyd

Für Formaldehyd gilt seit vielen Jahren ein Grenzwert von 0,1 ppm beziehungsweise etwa 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nach eingehender Diskussion wurde dieser Grenzwert im Jahr 2006 bestätigt, jedoch dahingehend konkretisiert, dass der Wert zu kei-

nem Zeitpunkt, also auch nicht unter „worst case“ Bedingungen, überschritten werden soll [8].

In den 41 untersuchten Containerräumen wurde der Grenzwert in zwei Fällen deutlich (170 beziehungsweise 173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) überschritten. In 6 weiteren

Räumen wurden Werte von 100 - 120 µg/m³ erreicht. In diesen Fällen wurden Nachmessungen in weiteren Räumen unter verschiedenen Bedingungen sowie verstärktes Lüften empfohlen. In allen Fällen waren unter Beachtung der Lüftungserfor-

dernisse Formaldehydkonzentrationen unterhalb des Grenzwertes erreichbar. Die Verteilung der Formaldehydkonzentrationen in den untersuchten Räumen ist in Bild 6 dargestellt.

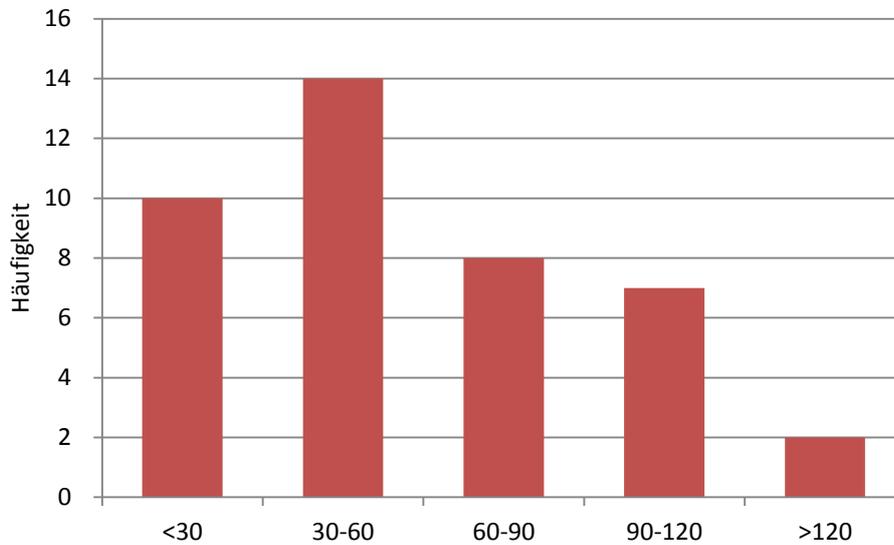


Bild 6: Histogramm für Formaldehyd, Klassen in µg/m³

5.3 Einstufung nach dem TVOC-Konzept

Das TVOC-Konzept erlaubt eine Einstufung des gemessenen TVOC-Wertes in fünf Kategorien, die jeweils mit einer hygienischen Bewertung und abgestuf-

ten Maßnahmen verbunden sind. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle vereinfacht dargestellt; detaillierte Informationen finden sich zum Beispiel in [3, 7].

Tabelle 7: Einstufung nach dem TVOC-Konzept [7]

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Hygienisch unbedenklich	Hygienisch noch unbedenklich	Hygienisch auffällig	Hygienisch bedenklich	Hygienisch inakzeptabel
< 0,3 mg/m ³	0,3-1,0 mg/m ³	1,0-3,0 mg/m ³	3,0-10 mg/m ³	> 10 mg/m ³
Zielwert	Verstärkte Lüftung	Bis 12 Monate tolerierbar	Bis 1 Monat tolerierbar	Nutzung vermeiden

Die Einordnung der gemessenen TVOC-Werte in das oben genannte Konzept führt zu dem in Bild 7 dargestellten Ergebnis. Dabei ist zusätzlich auch in diesen Fällen zu beachten, dass die Konzentrationsbereiche des TVOC-Konzeptes für Probenahmen unter Nutzungsbedingungen gelten. Hier wurde jedoch unter worst-case-Bedingungen beprobt, die üblicherweise höhere Konzentrationen erwarten lassen.

Im Vergleich mit konventionellen Klassenzimmern war ein etwas geringerer Anteil der Räume in den Containern als „hygienisch unbedenklich“

(Stufe 1: < 0,3 mg/m³) bzw. „hygienisch noch unbedenklich“ (Stufe 2: 0,3-1,0 mg/m³) einzustufen (insgesamt 90 %). Bei der Schul- und Kindergartenstudie 2005/2007 entfielen 97 % der Räume auf diese TVOC-Stufen.

Im Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 entsprachen 55 % der untersuchten Räume nach dem TVOC-Konzept der Stufe 1. Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen (68 %). Es bleibt ferner festzuhalten, dass sehr hohe VOC-Belastungen (TVOC-Stufe 4 oder 5) nicht festgestellt wurden.

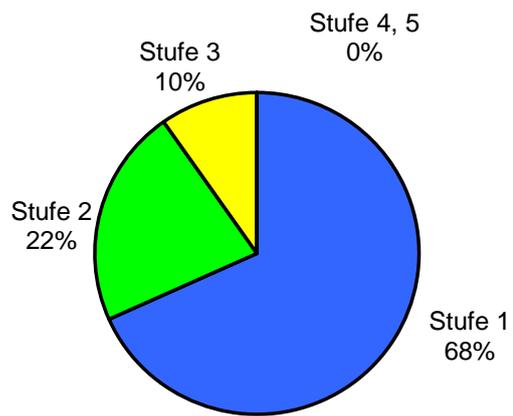


Bild 7: Bewertung der Proben nach dem TVOC-Konzept

6 Kohlendioxid-Konzentrationen in Containerräumen

Bereits im Jahr 1858 erhob Pettenkofer [9] die Forderung, dass durch ausreichenden Luftwechsel die Kohlendioxid-Konzentration in Innenräumen möglichst auf 1000 ppm zu begrenzen sei. Nachdem lange Zeit bei der Bewertung der Raumluftqualität die chemischen Verunreinigungen im Vordergrund gestanden haben, wird seit einiger Zeit verstärkt auch wieder die Bedeutung des Kohlendioxids als Indikator für die allgemeine Raumluftqualität hervorgehoben.

Im Jahr 2008 veröffentlichte die Ad-hoc-AG IRL ein dreistufiges Leitwertschema für die Bewertung der Kohlendioxid-Konzentration in Innenräumen [10].

Wegen der meist sehr dichten Gebäudehülle bei Containerräumen und der häufig geringeren Zimmerhöhe wurde in allen Räumen über mindestens einen ganzen Unterrichtstag hinweg die Entwicklung der Kohlendioxid-Konzentration aufgezeichnet. Die nachfolgenden Bilder 8 und 9 zeigen exemplarisch den typischen Kurvenverlauf.

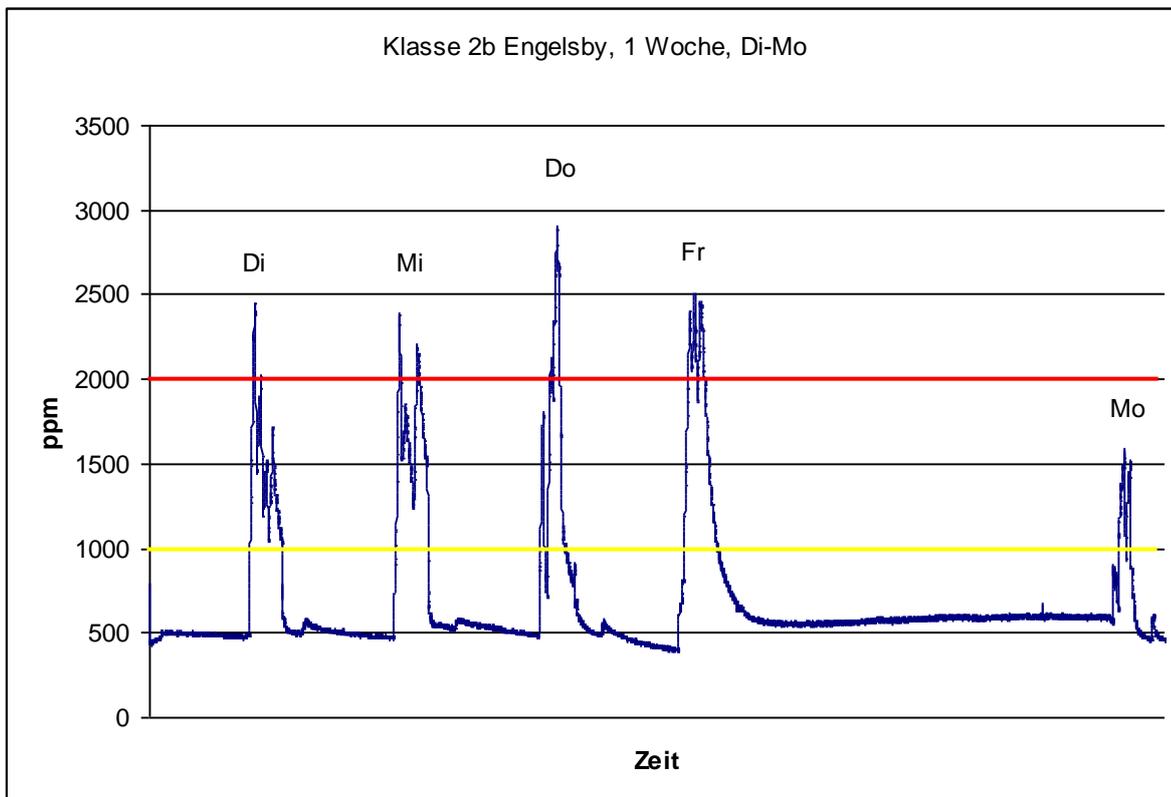


Bild 8: Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration in einem Containerraum über eine Woche

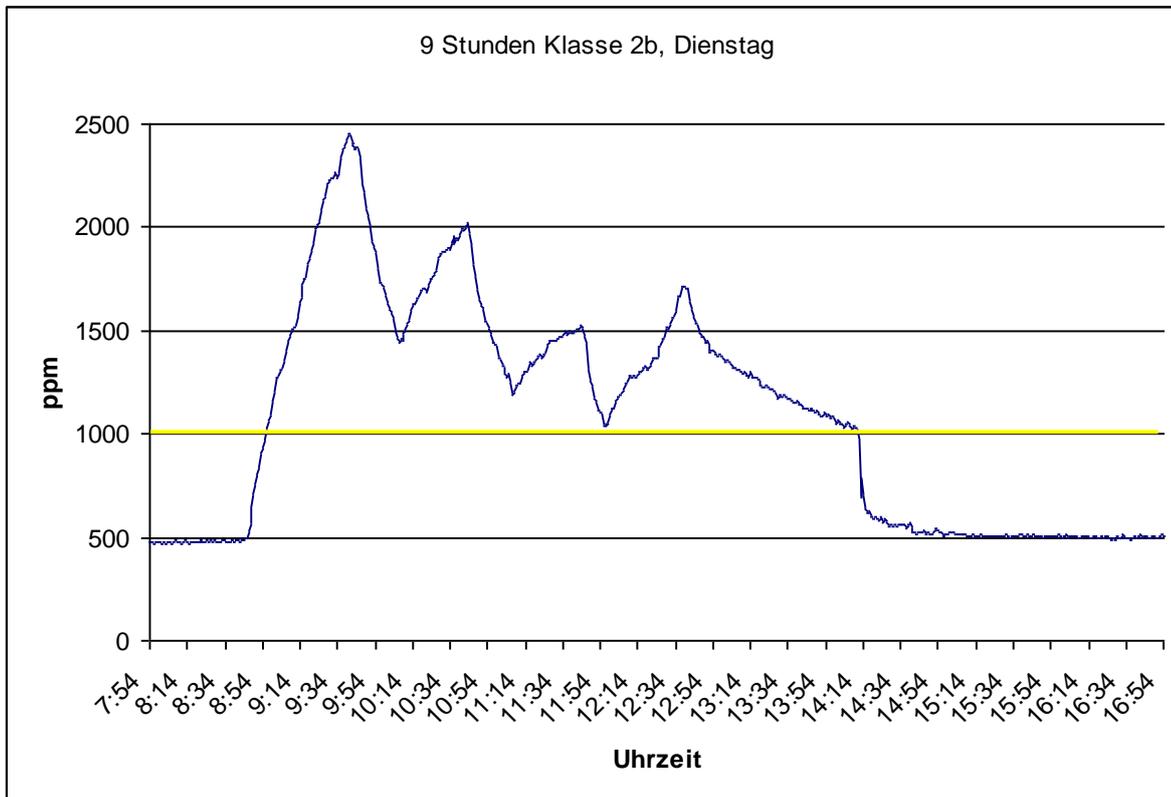


Bild 9: Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration an einem Unterrichtstag (Ausschnitt aus Bild 8)

Typisch ist der sehr rasche Anstieg der Konzentration mit Unterrichtsbeginn. Innerhalb von 15 - 20 min wird der Leitwert [10] von 1000 ppm erreicht oder bereits überschritten. Ebenfalls charakteristisch ist, dass dieser hygienisch wünschenswerte Leitwert im Verlaufe des Unterrichtstages nur in Lüftungsphasen, etwa in den Pausen, wieder unterschritten wird. Unterbleibt in den Pausen das Lüften, so bleibt die Kohlendioxid-Konzentration häufig ständig über 1000 ppm. An den meisten aufgezeichneten Unterrichtstagen waren Phasen zu beobachten, in denen die Konzentration 2000 ppm deutlich überschritt, die Raumluftverhältnisse also als „hygienisch inakzeptabel“ zu bewerten

sind [10]. Es ist anzumerken, dass es sich um einen Raum mit unterstützender technischer Lüftung handelt.

Die Zeitanteile, an denen die Kohlendioxid-Konzentration in den Klassenräumen in den drei Kategorien der Empfehlung der Ad-hoc-AG IRL lag, sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Dabei sollte beachtet werden, dass ein Teil der „hygienisch unbedenklich“ bewerteten Zeit letztlich Pausenzeiten sind, in denen sich die Schülerinnen und Schüler nicht (dauerhaft) im Raum aufhalten.

Tabelle 8: Zeitanteile in % der Unterrichtstage in den drei Bewertungskategorien (88 Unterrichtstage)

CO ₂ (ppm)	Bewertung	Empfehlung	LAsD 2010			Bayern 2008	
			Median	Minimum	Maximum	Winter	Sommer
< 1000	Hygienisch unbedenklich	Keine weiteren Maßnahmen	40	2	100	10	80
1000-2000	Hygienisch auffällig	Lüftung intensivieren, Verhalten überprüfen	42	0	84	k. A.	k. A.
> 2000	Hygienisch inakzeptabel	+ Belüftbarkeit prüfen, ggf. weitere Maßnahmen	09	0	79	k. A.	k. A.

Die Schwankungsbreite der Kohlendioxid-Konzentration ist, da von individuellem Verhalten und Wetter

abhängig, sehr groß. Daher kommt es sowohl vor, dass Räume während mehr als 90 % der Unterrichts-

zeit einen Kohlendioxid-Wert unter 1000 ppm aufweisen, als auch dass dieser Wert nur in weniger als 10 % der Unterrichtszeit eingehalten wird. In Bayerischen Schulen waren in Abhängigkeit von der Jahreszeit vergleichbare Schwankungsbreiten festgestellt worden.

Bemerkenswert ist auch, dass zum Teil mehr als die Hälfte der Unterrichtszeit bei einer Kohlendioxid-Konzentration, die als „hygienisch inakzeptabel“ bewertet wird, verbracht wird. Und dies, obwohl den NutzerInnen die Aufzeichnung der Kohlendioxid-Konzentrationen bekannt war und einige der Messgeräte das Überschreiten der Leitwerte optisch über LEDs anzeigten.

Vergleicht man, wie in Bild 10 geschehen, die jeweiligen Unterrichtstage der einzelnen Räume miteinander, so wird erkennbar, dass auch im selben Raum sehr unterschiedliche Raumluftverhältnisse vorkommen können. Die mit einem „T“ gekennzeichneten

Messreihen stammen aus Räumen mit (unterstützender) technischer Lüftung. Vorbehaltlich der geringen Zahl von Räumen scheint der Zeitanteil mit Kohlendioxid-Konzentrationen > 2000 ppm hier geringer zu sein als für Räume ohne technische Lüftung (Median: 1 % gegenüber 10%), während der Zeitanteil < 1000 ppm bzw. 1000-2000 ppm höher ist (jeweils 47 % zu 39 %). Andererseits ist erkennbar, dass eine Lüftungsanlage allein kein Garant für sehr gute Raumluftqualität ist und diese auch in Räumen ohne Lüftungsanlage erreicht werden kann, wenn die entsprechenden Rahmenbedingungen (Lüftungshäufigkeit, Raumbelastung) eingehalten werden.

Das nachfolgende Bild 11 macht deutlich, dass an weniger als einem Viertel der aufgezeichneten Unterrichtstage bei mindestens 50 % der Unterrichtszeit ein Kohlendioxid-Wert von 1000 ppm unterschritten und zugleich keine Konzentrationen oberhalb von 2000 ppm erreicht wurde.

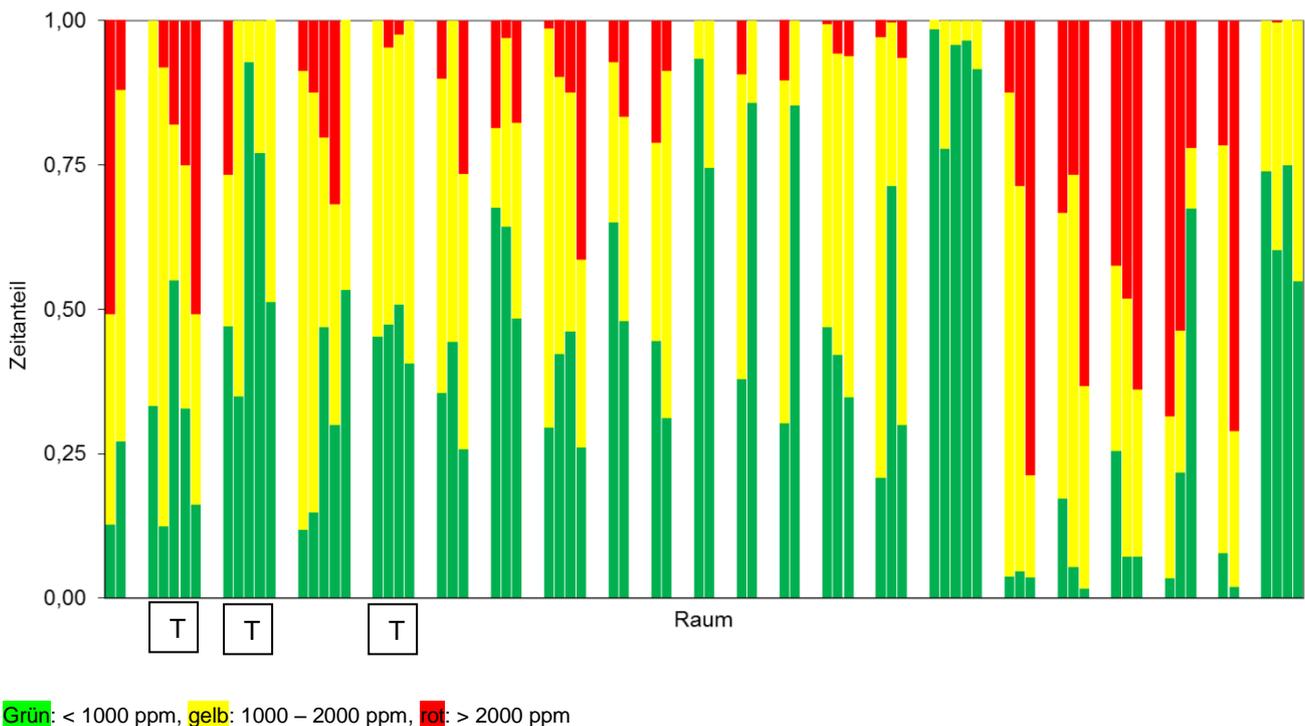
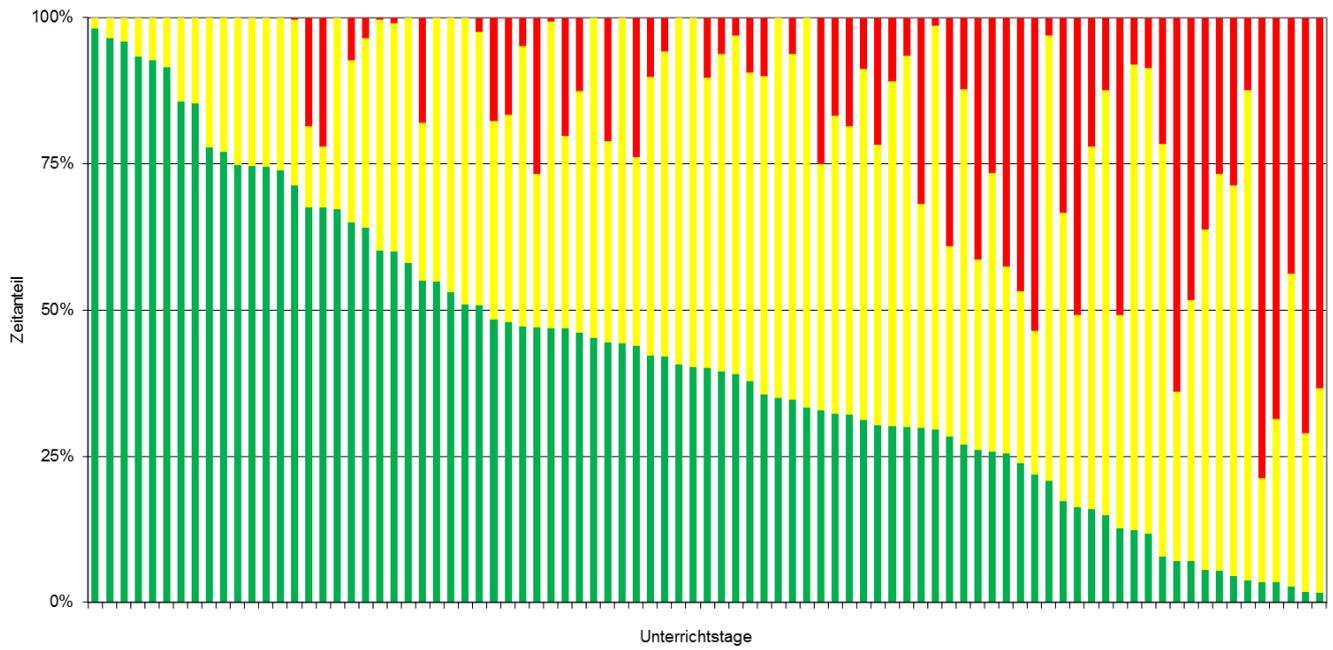


Bild 10: Zeitanteile während der Unterrichtstage in den drei Bewertungskategorien, gruppiert nach Räumen. Nur Räume mit zwei bis fünf aufgezeichneten Unterrichtstagen; T = technische Lüftungseinrichtung



Grün: < 1000 ppm, **gelb:** 1000 – 2000 ppm, **rot:** > 2000 ppm

Bild 11: Zeitanteile der Unterrichtstage in den drei Bewertungskategorien (88 Unterrichtstage ausgewertet)

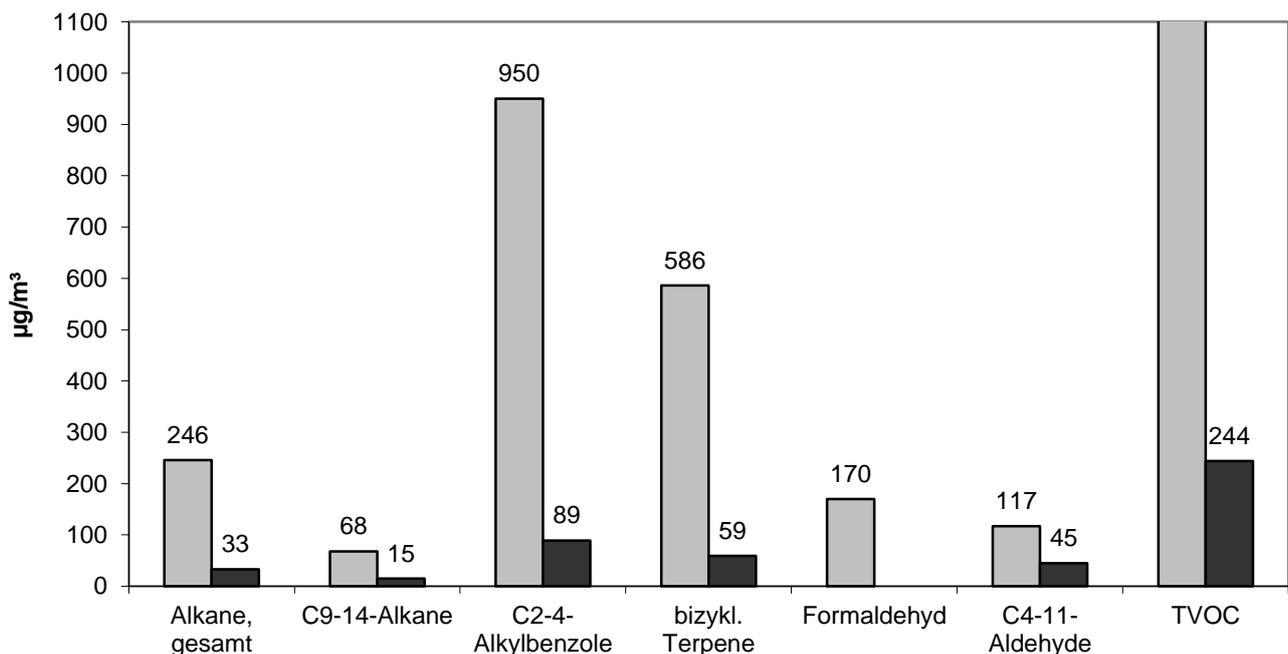
7 Maßnahmen bei erhöhten VOC-Konzentrationen

Bei Feststellung deutlich erhöhter VOC-Konzentrationen und Überschreitungen von Richtwerten wurde den Gesundheitsbehörden der Kreise und den Schulämtern empfohlen, Nachmessungen unter Nutzungsbedingungen vorzunehmen. Erst diese erlauben eine genaue Beurteilung der Belastungssituation und der Notwendigkeit von Minderungsmaßnahmen, da sich die Richtwerte und das TVOC-Konzept auf Messungen unter Nutzungsbedingungen beziehen.

In einer Schule wurden nach den Sommerferien am 23.08.2010 neue Schulcontainer in Nutzung genommen, die kurz zuvor aufgestellt worden waren. Die Raumluftuntersuchungen im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgten am 13.09.2010. Auf Grund der erhöhten Konzentrationen sowohl zahlreicher VOC als auch einer deutlichen Überschreitung des Formaldehyd-Grenzwertes wurden am 20.10.2010 im betroffenen Raum Proben unter Nutzungsbedingungen ent-

nommen und zwischenzeitlich verstärkte Lüftungsmaßnahmen empfohlen. Die Ergebnisse der beiden Messungen sind in Bild 12 gegenübergestellt.

Die Messung unter Nutzungsbedingungen war unauffällig (TVOC-Stufe 1, keine Richtwertüberschreitungen), die Belastung lag bei ca. 1/10 der zuvor gemessenen Konzentrationen. Diese positiven Ergebnisse dürften sicherlich zum einen auf die geänderten Probenahmebedingungen, zum anderen aber auch auf die zwischen beiden Probenahmen liegende Zeit mit intensiveren Lüftungsmaßnahmen zurück zu führen sein. Das Beispiel stützt einmal mehr die Forderung, dass die Nutzung von renovierten oder neu erstellten Räumen nicht unmittelbar nach Abschluss der Baumaßnahmen erfolgen sollte und insbesondere zu Beginn der Nutzungsphase vermehrt gelüftet werden sollte.



Hell: 13.09.2010, worst-case (Lüftung am Vortag, während der Messung Fenster und Tür geschlossen)
Dunkel: 20.10.2010, Nutzungsbedingungen (Lüften vor Probenahmebeginn + 5 min während der Probenahme)

Bild 12: Vergleich der VOC-Konzentrationen unter worst-case- und Nutzungsbedingungen

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel durchgeführt festzustellen, ob so genannte Containerklassenräume ungünstigere Raumluftverhältnisse aufweisen als konventionell erbaute Gebäude. Untersucht wurden flüchtige organische Verbindungen (VOC), leicht flüchtige Aldehyde und Aceton sowie der Verlauf des Kohlendioxidgehaltes in der Luft innerhalb der Unterrichtszeit. Das Messprogramm umfasste 41 Containerräume.

Es zeigte sich, dass die Containerräume im Durchschnitt kaum höher mit flüchtigen organischen Verbindungen belastet sind als übliche konventionelle Gebäude. Dies gilt nicht für die Aldehyde, für die höhere Konzentrationen gemessen wurden. Die Schwankungsbereiche der VOC-Belastung beim Vergleich unterschiedlicher Objekte entspricht in etwa der von konventionellen Gebäuden.

In Einzelfällen wurden gesundheitlich begründete Richtwerte I (RW I, Zielwert) überschritten; Überschreitungen von Richtwerten II (RW II, Eingriffswert) wurden nicht festgestellt. In zwei Räumen wurde unter ungünstigen Lüftungsbedingungen der Grenzwert für Formaldehyd überschritten.

Rund 90 % der Räume waren gemäß TVOC-Konzept als „hygienisch unbedenklich“ oder „hygienisch noch unbedenklich“ einzustufen. Dies ist vergleichbar mit konventionellen Räumen (97 %). Die übrigen Räume waren „hygienisch auffällig“. „Hygienisch bedenklich“ oder „hygienisch inakzeptabel“ war keiner der untersuchten Räume.

Im Falle erhöhter VOC-Konzentrationen wurde empfohlen, vermehrt und systematisch zu lüften. Nachbeprobungen ergaben, dass auf diesem Weg die Belastungen auf ein akzeptables Maß verringert werden konnten.

Generell lässt sich folgern, dass Containerräume nicht notwendigerweise schlechte Raumluftverhältnisse bieten. Auch in der subjektiven Bewertung durch die Nutzerinnen und Nutzer wurden die Räume überwiegend als „eher angenehm“ empfunden. Entscheidend ist aber, ob die Räume hinreichend gelüftet werden. Dies ist umso dringlicher, als wegen geringerer Deckenhöhe weniger Raumvolumen zur Verfügung steht.

Das Lüftungsverhalten war sehr häufig unbefriedigend, was durch Kohlendioxidmessungen während des Unterrichtes dokumentiert werden konnte. Durchschnittlich verbrachten hinsichtlich des Kohlendioxid-Gehaltes in der Raumluft die Kinder nur etwa 40 % der Unterrichtszeit unter „hygienisch unauffälligen“ Bedingungen (< 1000 ppm). Hier besteht offenbar noch immer erheblicher Aufklärungsbedarf.

Die Notwendigkeit ausreichender Lüftung wird unterstrichen von Forschungsergebnissen, die einen klaren Zusammenhang zwischen Lernerfolg und CO₂-Konzentration herstellen [11]: „Die Senkung der CO₂-Konzentration ist verknüpft mit höherer Aufmerksamkeit, einer intensiveren Schüler/Lehrer-Kommunikation, einem geringeren Geräuschpegel und einer Senkung der Beanspruchung (gemessen an der Herzfrequenz).“

Eine ausreichende Lüftung wirkt sich also sowohl gesundheitlich (VOC) als auch hygienisch (CO₂) und pädagogisch positiv aus.

Da sich Kinder einen großen Teil des Tages in Innenräumen aufhalten, kommt möglichen Schadstoffen in der Raumluft für das Wohlbefinden und die Gesundheit dieser gegenüber Schadstoffen besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppe eine große Bedeutung zu.

Als Empfehlungen lassen sich aus diesen Untersuchungen ableiten:

- Vor Inbetriebnahme eines neuen Schulcontainers sollten VOC-Messungen zur Kontrolle vorgenommen werden.
- Es sollten konkrete Lüftungsvorgaben erarbeitet und durch die Schulleitung konsequent umgesetzt werden.
- Eine mechanische Lüftung gewährleistet nicht in jedem Falle eine ausreichende Frischluftzufuhr.

9 Literatur

- [1] Ministerium für Arbeit, Soziales und Gesundheit des Landes Schleswig-Holstein (2009): Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil 1: Hintergrundwerte für Schulen und Kindergärten.
- [2] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen - Probenahme mit einer Pumpe (ISO/DIS 16000-3:2009)
- [3] Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (2008): Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Berlin, Deutschland. Überarbeitete Neuauflage .
- [4] Mölhave L., Nielsen, G. D. (1992): Interpretation and limitations of the concept "total volatile organic compounds" (TVOC) as an indicator of human responses to exposures of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air. *Indoor Air* 2, 65-77.
- [5] EU-ECA-WG13 (1996): The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations. Report of working Group 13 of European Collaborative Action on Indoor Air Quality and its Impact on Man. JRC, Ispra, Italien.
- [6] Fromme, H., Heitmann, D., Dietrich, S., Schierl, R., Körner, W., Kiranoglu, M., Zapf, A., Twardella, D. (2008): Raumluftqualität in Schulen - Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen, *Gesundheitswesen* 2008; 70: 88-97.
- [7] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 50, 990-1005.
- [8] Stellungnahme des BfR (2006): Toxikologische Bewertung von Formaldehyd, Stellungnahme Nr. 023/2006 vom 30. März 2006 http://www.bfr.bund.de/cm/343/toxikologische_bewertung_von_formaldehyd.pdf
- [9] Pettenkofer, M. von (1858): Besprechung Allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen. Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. J.G. Cotta'sche Buchhandlung, München.
- [10] UBA, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2008): Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 51, 1358-1369.
- [11] Myhrvold, A. N., Olsen, E., Lauridsen, O. (1996): Indoor environment in schools - Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations. *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Indoor Air* 4, 369-374.
- [13] Schulz C., Ullrich D., Pick-Fuß H. et al. (2008): Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 - KUS - Innenraumluft - Flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten mit Kindern in Deutschland. *WaBoLu in Vorbereitung*.
- [14] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 51, 109-112.

10 Anhang

Anhang 1: Fragebögen

Landesamt für soziale Dienste
Dezernat 34: Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Brunswiker Straße 4, 24105 Kiel

Fragebogen A: „Container-Gebäude“

Gebäude ID (wird vom LAsD vergeben): /

Name der Einrichtung: _____

Straße: _____

PLZ: _____ Ort: _____

dortiger Ansprechpartner: _____ Telefon: _____

Träger der Einrichtung: _____

Auftraggeber/Empfänger der Messergebnisse:

Name: _____ Telefon: _____

Institution: _____

Straße: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Container:

Hersteller-Firma, Typ: _____

Baujahr des Containers /Gebäudes? Baujahr ~ _____

Wie lange ist der Container in der jetzigen Nutzung? _____ Jahre

Sonstiges: _____

Liegt das Gebäude an einer Hauptverkehrsstraße? Nein Ja

Fragebogen B: „Container-Raum“

Raum ID (wird vom LAsD vergeben): / /

Labornummer LGA: _____ Bezeichnung Auftraggeber: _____

Gebäude: _____

Raumbezeichnung: _____ (Nutzung)

Raumnummer: _____

1. Raumgröße/-beschaffenheit:

m Länge m Breite m Höhe

m³ Volumen

2. Wieviele Personen halten sich in dem Raum/ im Durchschnitt auf?

Erwachsene Kinder

3. Aus welchem Material sind Fußböden und Wänd-belag überwiegend hergestellt?

- Kunststoff (PVC, Laminat etc.) Teppichboden, Kunstfaser
 Papiertapete, Rauhfaser Kunststoff- / Textiltapete

Sonstiges / Anmerkungen / Angaben zum verwendeten Material:

4. Wann sind zuletzt Renovierungsarbeiten durchgeführt worden?

- Container ist neu bis vor 2 Monaten vor 2 – 12 Monaten
 vor mehr als 12 Monaten unbekannt

5. Wie sind die Möbel überwiegend beschaffen?

- Massivholz beschichtete Spanplatten / Kunststoffoberflächen etc.

6. Lüftung

- Belüftet wird über: Fensterlüftung (ausschließlich)
 Zwangs- / technische Belüftung
 Klimaanlage

ggf. Angaben zur technischen Lüftung. Luftmenge [m³/h]:.....

Ist die Lüftung individuell vom Raum aus regulierbar? Nein Ja

Gibt es Probleme mit Feuchtigkeit / Schimmel? Nein Ja

Nehmen die Nutzer in dem Raum besondere Gerüche wahr? Nein Ja

Fragen zu Gesundheit und Behaglichkeit

Wie wird das Raumklima empfunden?

Wie schätzen Sie als Nutzer die Raumverhältnisse ein?

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> trocken | <input type="checkbox"/> feucht |
| <input type="checkbox"/> staubarm | <input type="checkbox"/> staubig |
| <input type="checkbox"/> „frisch“ | <input type="checkbox"/> „stickig“, muffig |
| <input type="checkbox"/> eher laut | <input type="checkbox"/> eher ruhig |
| <input type="checkbox"/> unbelastet bzw. „umweltgesund“ | <input type="checkbox"/> belastet bzw. „umweltkrank“ |
| <input type="checkbox"/> zugig | <input type="checkbox"/> „angenehm“ |
| <input type="checkbox"/> „eher zu warm“ | <input type="checkbox"/> „eher zu kalt“ |

Wie zufrieden sind Sie mit der allgemeinen Luftqualität in dem Container-Raum?

sehr zufrieden eher zufrieden eher unzufrieden sehr unzufrieden

3. Gibt es Gesundheitsbeschwerden, die auf krankmachende Einflüsse des Raumes zurückgeführt werden?

nein bei Erwachsenen bei Kindern

4. Sind bei Kindern oder Erwachsenen, die sich regelmäßig in dem Gebäude/Raum aufhalten, in den letzten Monaten folgende Symptome aufgetreten?

	Nein	Manchmal	Häufig
Augenbrennen, -jucken, Konjunktivitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nasenreizung, verstopfte Nase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Halskratzen, Kehlkopfreizung, Heiserkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Husten, Luftnot, Asthma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hautreizung, trockene Haut, Ausschlag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen, „Migräne“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ungewohnte Müdigkeit, Leistungsschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstige: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Sonstige Angaben/Beobachtungen/ Besonderheiten (weitere Beschwerden, die Sie in den letzten Monaten auf den Aufenthalt in den Räumen zurückführen):

C: Container-Messprotokoll VOC : Anasorb/A-Kohle

Raum ID (wird vom LAsD vergeben): / /

Labornummer LAsD: _____ Bezeichnung Auftraggeber: _____

Datum der Probennahme: _____

Gebäude: _____

Raumbezeichnung: _____

Raumnummer: _____

Handelt es sich um eine

Erstmessung Wiederholungsmessung → alte Probennummern

Die Probennahme erfolgte unter worst case-* Nutzungsbedingungen.

Angaben zu den Messbedingungen: _____

°C	Pumpe	%	rel. Feuchte	ppm	CO ₂
hPa	Luftdruck	1 atm = 760mm Hg = 1013hPa		°C	Testo

Probennahme (Uhrzeit) von: _____ bis: _____

Gesamtzeit: _____ min Pumpenstrom: _____ l/min

Probenvolumen (insgesamt): _____ l **oder** _____

Normliter

Pumpentyp: _____

Sonstiges (z.B. Position des Sammelröhrchens):

Datum

Unterschrift

* worst case: letzte Lüftung am Vorabend, Fenster und Türen vor und während der Probennahme geschlossen

D: Container-Messprotokoll VOC : Tenax

Raum ID (wird vom LAsD vergeben): / /

Probennummer: _____ RG Nr: _____ Rohr Nr.: _____ Messung Nr.: _____

Datum der Probennahme: _____ gemessen: _____

Gebäude: _____

Raumbezeichnung: _____

Raumnummer: _____

Handelt es sich um eine

Erstmessung Wiederholungsmessung → alte Probennummern

Die Probennahme erfolgte unter worst case-* Nutzungsbedingungen.

Angaben zu den Messbedingungen: _____

°C	Pumpe	%	rel. Feuchte	ppm	CO ₂
hPa	Luftdruck	1atm = 760mm Hg = 1013hPa		°C	Testo

Probennahme (Uhrzeit) von: _____ bis: _____

Gesamtzeit: _____ min Pumpenstrom: _____ l/min

Probenvolumen (insgesamt): _____ l **oder** _____

Normliter

Pumpentyp: _____

Sonstiges (z.B. Position des Sammelröhrchens):

Datum

Unterschrift

* worst case: letzte Lüftung am Vorabend, Fenster und Türen vor und während der Probenahme geschlossen

E: Container-Messprotokoll : „ALDEHYDE“

Raum ID (wird vom LAsD vergeben): / /

Labornummer LAsD: _____ Bezeichnung Auftraggeber: _____

Datum der Probennahme: _____

Gebäude: _____

Raumbezeichnung: _____

Raumnummer: _____

Handelt es sich um eine

Erstmessung Wiederholungsmessung → alte Probennummern

Die Probennahme erfolgte unter worst case-* Nutzungsbedingungen.

Angaben zu den Messbedingungen: _____

°C	Pumpe	%	rel. Feuchte	ppm	CO ₂
hPa	Luftdruck	1 atm = 760mm Hg = 1013hPa		°C	Testo

Probennahme (Uhrzeit) von: _____ bis: _____

Gesamtzeit: _____ min Pumpenstrom: _____ l/min

Probenvolumen (insgesamt): _____ l **oder** _____

Normliter

Pumpentyp: _____

Sonstiges (z.B. Position des Sammelröhrchens):

Datum

Unterschrift

* worst case: letzte Lüftung am Vorabend, Fenster und Türen vor und während der Probenahme geschlossen

Anhang 2: Statistische Kenngrößen, in µg/m³

Name	Containerräume			
	%>BG	P50	P95	MAX
Alkane				
n-Hexan*	88	1,0	3,0	12
n-Heptan	63	1,5	10,0	59
n-Octan	49	1,0	6,1	8
n-Nonan	24	1,5	9,9	14
n-Decan	76	1,0	7,0	9
n-Undecan	73	1,0	5,6	15
n-Dodecan	73	1,0	4,6	24
n-Tridecan	51	2,0	7,0	21
n-Tetradecan	76	2,0	9,0	20
n-Pentadecan	71	1,0	6,2	10
n-Hexadecan	73	1,0	4,0	6
n-Heptadecan	39	1,0	2,0	2
3-Methylhexan*	15	30,5	145,3	175
2,3-Dimethylpentan*	10	13,5	41,4	46
2,4-Dimethylpentan*	5	4,5	6,8	7
2,3,4-Trimethylpentan*	17	3,0	5,5	6
2,2,4-Trimethylpentan*	5	4,5	6,8	7
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan*	12	5,0	17,6	19
Cyclohexan	24	12,0	404,8	547
Methylcyclopentan	20	1,0	4,0	5
Methylcyclohexan	54	1,5	17,4	53
Alkene				
5-Methylhexen-2*	12	32,0	104,4	121
1-Octen	10	1,0	1,9	2
1-Decen	2	1,0	1,0	1
1-Dodecen*	2	12,0	12,0	12
Alkohole				
Ethanol*	63	1,0	4,8	32
1-Propanol	83	2,0	98,7	232
2-Propanol*	93	5,0	143,7	445
1-Butanol	95	6,0	26,0	58
Isobutanol*	7	3,0	3,9	4
2-Ethyl-1-hexanol	90	6,0	23,0	42
Benzylalkohol*	5	4,0	4,9	5

Fortsetzung Anhang 2: Statistische Kenngrößen, in µg/m³

Name	%>BG	P50	P95	MAX
Aromaten				
Benzol	5	1,0	1,0	1
Toluol	95	2,0	22,0	66
m-Xylol	88	2,0	30,5	343
p-Xylol	54	2,0	6,0	150
o-Xylol	71	2,0	30,6	93
Ethylbenzol	68	1,0	10,3	124
Styrol	80	1,0	16,4	27
1,2,3-Trimethylbenzol*	17	4,0	14,4	18
1,2,4-Trimethylbenzol	78	3,0	28,7	109
Mesitylen	46	2,0	19,1	29
2-Ethyltoluol	46	2,0	12,3	24
3-Ethyltoluol	59	1,5	15,8	39
4-Ethyltoluol*	7	3,0	11,1	12
n-Propylbenzol	32	1,0	5,4	9
Naphthalin	27	1,0	1,0	1
Terpene				
α-Pinen	98	18,0	118,8	499
β-Pinen	83	2,0	11,5	40
3-Caren	90	4,0	25,4	42
Limonen	95	4,0	35,0	105
α-Terpinen*	7	3,0	4,8	5
dl-Menthol*	2	5,0	5,0	5
Longifolen	54	1,0	3,0	3
Aldehyde, Ketone				
Formaldehyd	93	56,2	127,5	173
Acetaldehyd	76	25,6	84,1	111
Propanal	17	17,1	38,2	45
Butanal	63	3,0	10,0	12
Pentanal	88	5,0	30,3	43
Hexanal	100	11,0	63,0	75
Heptanal*	10	2,0	2,9	3
Octanal*	20	3,5	6,0	6
Nonanal	88	7,0	20,5	23
Benzaldehyd	83	4,5	12,8	23
Aceton	100	68,8	1500	2230
Cyclohexanon	51	2,0	9,0	20
2-Heptanon	5	2,0	2,0	2
Acetophenon	63	1,5	8,3	11
Ester, Ether, Glykolderivate				
Ethylacetat*	10	32,5	173,6	194
Isopropylacetat*	2	497,0	497,0	497
n-Butylacetat	71	3,0	35,0	41
Diethylphthalat	5	1,0	1,0	1
1,4-Dioxan*	2	6,0	6,0	6
Ethylenglykolmonomethylether	27	5,0	38,0	62
Ethylenglykolmonoethylether	5	4,5	7,7	8
Ethylenglykolmonobutylether	51	4,0	58,0	232

Fortsetzung Anhang 2: Statistische Kenngrößen, in µg/m³

Name	%>BG	P50	P95	MAX
Phenoxyethanol	76	2,0	27,5	127
2-Ethoxyethylacetat	66	3,0	8,1	13
Diethylenglykolmonoethylether*	2	99,0	99,0	99
Diethylenglykolmonobutylether	29	3,0	44,2	70
Butyldiglykolacetat	17	1,0	171,8	245
Propylenglykolmonomethylether*	10	9,0	32,0	35
Dipropylenglykolmonomethylether*	2	16,0	16,0	16
Methoxypropylacetat*	20	3,5	14,5	19
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat*	2	10,0	10,0	10
Propylenglykolmonobutylether*	10	5,5	10,6	11
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiisobutyrat	34	1,0	5,4	6
Sonstige				
1,1,1-Trichlorethan	12	3,0	7,2	8
1,4-Dichlorbenzol	5	5,0	5,9	6
1-Chlornaphthalin	10	1,0	1,9	2
Cyclopentasiloxan*	34	7,0	18,7	31
nicht ident. Kohlenwasserstoffe*	56	20,0	102,6	187

Nur Werte > BG berücksichtigt

% > BG: Anteil der Werte oberhalb Bestimmungsgrenze;

P50, P95: Perzentile;

Max: Maximaler gemessener Wert;

*: Berechnet als Toluolequivalent