

# Untersuchungen raumlufthygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen

*Alexander Brandl, Peter Tappler, Felix Twrdik, Bernhard Damberger*

## 1. Einleitung

Der Mensch hält sich in Industrieländern durchschnittlich mehr als 90 % seiner Lebenszeit in Innenräumen auf, sei es im Wohnbereich, in Schulen oder am Arbeitsplatz. Vergleichende Studien zeigten, dass die Luft in geschlossenen Räumen selbst an verkehrsreichen Standorten häufig stärker mit gesundheitsgefährdenden Stoffen belastet ist als die Außenluft (De Bortoli et al. 1986; Wallace et al. 1986). Diese speziell in Innenräumen anzutreffenden Luftverunreinigungen werden sowohl durch menschliche Aktivitäten, wie zum Beispiel Zigarettenrauchen, Reinigungstätigkeiten oder Verbrennungsvorgänge, als auch von Baustoffen und Einrichtungsgegenständen verursacht (Seifert 1990). Hygienisch nicht einwandfreie Raumluft kann, wie zahlreiche Untersuchungen zeigen, neben der Belästigung zu einer dauerhaften gesundheitlichen Belastung werden (ÖBIG 1995).

Eine weitere Ursache für erhöhte Schadstoffwerte in Innenräumen liegt darin, dass seit den siebziger Jahren Gebäude und Wohnungen immer aufwendiger abgedichtet, vor allem Fenster und Türen nahezu fugendicht verschlossen wurden. Diese an sich sinnvollen energiesparenden Maßnahmen haben den Luftaustausch zwischen Innen- und Außenluft so stark verringert, dass zu wenig Frischluft in Innenräume gelangt. Das Lüftungsverhalten der Raumnutzer ist der Dichtheit der Gebäude in der Regel nicht angemessen.

In Räumen mit starken Schadstoffemittenten kann es schon nach relativ kurzer Zeit zu einer Überschreitung von Schadstoff-Grenzkonzentrationen kommen und es müsste in für den Nutzer nicht akzeptablen kurzen Abständen gelüftet werden. Das gleiche gilt für Räume mit geringer Grundlüftung und hoher Personenbelegung wie Klassenzimmer in Schulen oder Vortragsräume.

## 2. Zielsetzung

Ziel der Studie ist es, einen Überblick über die Konzentration an bestimmten akut wirkenden Schadstoffen sowie über die Belüftungssituation in österreichischen Schulen zu gewinnen. Im speziellen sollen die Konzentrationen an Formaldehyd und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC) sowie an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) untersucht werden.

Die Bewertung der Messwerte in Hinblick auf bestehende toxikologisch begründete Grenz- oder Richtwerte soll zeigen, ob im Bereich Schulen Handlungsbedarf in Hinblick auf einer Verbesserung der Belüftungssituation bzw. Senkung allfälliger Schadstoffkonzentrationen besteht. Sollte Handlungsbedarf bestehen, werden Möglichkeiten aufgezeigt, die Belüftungssituation zu verbessern.

Durch Luftdichtigkeitsmessungen mittels Blower-Door soll weiters festgestellt werden, in welcher Größenordnung die Undichtigkeiten der ausgewählten Schulklassen liegen. Die Bewertung der Ergebnisse dieser Untersuchungen soll zeigen, ob Handlungsbedarf in Hinblick auf eine energetische Optimierung der jeweiligen Gebäude besteht.

### 3. Lufthygienische Relevanz der untersuchten Faktoren

Zahlreiche Befindlichkeitsstörungen und ernsthafte Erkrankungen werden auf schlechtes Raumklima zurückgeführt. Schadstoffe in Innenräumen werden prinzipiell dann als eine besondere Gefahr angesehen, wenn Risikogruppen wie Kinder, die oft empfindlicher reagieren, betroffen sind. Neuere Studien belegen, dass es bei mit Schadstoffen belasteter Raumluft zu signifikanten Einbußen der Leistungsfähigkeit bei Tätigkeiten wie Rechnen oder Texte tippen kommt (Wargotzki et al. 1999).

Formaldehyd und die Substanzgruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) gehören zu den am besten untersuchten Substanzen in Innenräumen (Seifert 1990; Tappler et al. 1997). Formaldehyd und VOC werden neben zahlreichen weiteren Effekten vor allem mit akuten Beschwerden der oberen Atemwege, Bindehautreizungen und Kopfschmerzen in Verbindung gebracht (ECA 1990).

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist in niedrigen Konzentrationen nicht toxisch, die Substanz ist jedoch ein guter Indikator für die durch den Menschen verursachte Raumluftbelastung. Die vom Menschen abgegebene Menge an CO<sub>2</sub> ist nicht nur mit der Geruchsintensität menschlicher Ausdünstungen, sondern auch direkt mit der Menge an flüchtigen organischen Verbindungen korreliert, die wiederum – zumindest zum Teil – als Träger des vom Körper ausgehenden Geruchs angesprochen werden kann. Erhöhte Konzentrationen entstehen bei Überbelegung von Innenräumen und unzureichender Belüftung sowie bei den meisten Verbrennungsvorgängen. Signifikante Zusammenhänge zwischen der Konzentration an CO<sub>2</sub> und Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. Befindlichkeitsstörungen sind bekannt (Seppänen 1999). Als erhöht werden in der Regel Konzentrationen, die den Wert von 1000 ppm = 0,1 Vol% maßgeblich überschreiten, bezeichnet.

Im Bereich von 0,1 - 0,2 Vol% CO<sub>2</sub> in der Atemluft verringert sich durch die leichte Verschiebung des Blut-pH der Sauerstofftransport im Blut. Dies kann zu Kopfschmerzen, Benommenheit und Verringerung des Leistungsvermögens führen (Müller-Limroth 1977). Deutliche physiologische Effekte treten nach heutigem Kenntnisstand erst bei einer längerfristigen Exposition ab 1 Vol% auf.

Hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind auch ein Hinweis auf zu geringe Frischluftvolumina, die dem jeweiligen Raum zugeführt werden. Neuere Studien belegen, dass es bei niedrigen personenbezogenen Frischluftvolumenströmen zu signifikanten Leistungseinbußen und diversen Befindlichkeitsstörungen kommt (Wargotzki et al. 2000).

### 4. Gegenwärtige Situation in Österreich:

Daten über die Belüftungssituation sowie die Schadstoffsituation in österreichischen Schulen liegen nur sehr vereinzelt vor. Die in diesen Bereichen bis dato punktuell durchgeführten Messungen des Raumklimas zeigten, dass die notwendige Frischluftmengen häufig um mehr als eine Größenordnung unterschritten wurden. Die Konzentration an CO<sub>2</sub> erreichte bei diesen Messungen mitunter Werte, die als maßgebliche hygienische Beeinträchtigung der Innenraumluft gelten (Tappler 2001). In einer österreichischen Untersuchung in Fertigteilhäusern (Tappler et al. 1997) konnten durchwegs niedrige Luftwechselzahlen und damit sehr niedrige personenbezogene Frischluftvolumenströme nachgewiesen werden. Fensterkonstruktionen in Fertigteilhäusern sind prinzipiell mit den in dieser Studie angetroffenen Fensterkonstruktionen vergleichbar. Es sind daher auch in Schulen, die ja eine

wesentlich höhere flächenbezogene Personenbelegung aufweisen, niedrige personenbezogene Frischluftvolumenströme zu erwarten. Systematische Untersuchungen zu diesem Thema sind jedoch in Österreich nicht vorhanden.

Für Schüler und Schülerinnen existieren keine Regelungen in Bezug auf die Luftqualität. Bei den Angestellten von Schulen sind die Arbeitsstättenverordnung (AST-VO 1998) bzw. entsprechende analoge Regelungen anzuwenden. Die Arbeitsstättenverordnung definiert Anforderungen an die Qualität der Raumluft sowie Mindestanforderungen an das personenbezogene Außenluftvolumen bei klimatisierten Räumen und damit an den Luftwechsel. Für nicht klimatisierte Räume wird gefordert, dass mechanisch zu be- und entlüftet ist, wenn die natürliche Belüftung nicht ausreicht, insbesondere wenn trotz Einhaltung der erforderlichen Lüftungsquerschnitte eine ausreichende Luftqualität nicht gewährleistet ist (dies wäre z.B bei Vorliegen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gegeben).

#### **4. Vorgangsweise:**

Es erfolgte eine repräsentative Auswahl von Unterrichtsräumen von Schulen. Dabei wurden oberösterreichische Schulgebäude unterschiedlicher Baujahre mit natürlicher Belüftung berücksichtigt.

Schulauswahlkriterien:

- 4 Volksschulen, 4 Hauptschulen, 2 Allgemeinbildende Höhere Schulen
- 3 Neubauten, 3 Altbauten, 4 Altbauten nach Sanierung
- Je 1 stark und 1 schwach belegter Klassenraum pro Schule

Zur überblicksmäßigen Bestimmung der Innenraumluftqualität wurden vor Schulbeginn in je 2 Klassenräumen pro Schule punktuelle Messungen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Formaldehyd durchgeführt. Ausgewertet wurden 19 Räume auf Formaldehyd und 18 Räume auf VOC. In allen Klassen wurden die Parameter Luftdruck, relative Luftfeuchte und Temperatur bestimmt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde während mehrerer Unterrichtseinheiten kontinuierlich aufgezeichnet. Weiters wurde die Luftdichtigkeit sämtlicher Räume mittels Blower-Door bestimmt.

#### **5. Analytik**

Die Probenahme erfolgte in der Regel in Raummitte in einer Höhe zwischen 1,2 und 1,5 m. In manchen Fällen wurde im hinteren Teil der Räume gemessen.

##### **5.1 Formaldehyd**

Die Probenahmestrategie wurde nach der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 3 durchgeführt. Die Probenahme für die Bestimmung von Formaldehyd erfolgte spektralphotometrisch [Shimadzu UV 1202] nach der Acetylacetonmethode.

## 5.2 Flüchtige Organische Verbindungen (VOC)

Die Probenahmestrategie wurde nach der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6 E durchgeführt. Die Sammlung der flüchtigen organischen Verbindungen erfolgte durch Adsorption an Aktivkohle [SKC, Anasorb 747]. Die chemische Untersuchung erfolgte analog der VDI-Richtlinie VDI 2100 Blatt 2E mittels Schwefelkohlenstoff ( $CS_2$ ). Die einzelnen Kohlenwasserstoff-Verbindungen wurden mittels Kapillargaschromatographie mit gekoppeltem Massenspektrometer [Shimadzu QP 5000] unter Verwendung einer DB 624 fused silica Kapillarsäule [J&W Scientific] gegen externe und interne Standards bestimmt. Die vom Detektor erhaltenen Signale wurden aufgezeichnet und mit Hilfe einer Auswertesoftware bearbeitet, wobei die Quantifizierung über die Peakflächen erfolgte. Der Parameter „Summe-VOC“ bezeichnet die Gesamtsumme der detektierten und quantifizierten VOC, wobei die nicht über externe Standards quantifizierten Peaks über den Kalibrierstandard Toluol quantifiziert werden.

## 5.3 Kohlendioxid, Temperatur, rel. Luftfeuchte

Die kontinuierliche Bestimmung der  $CO_2$ -Konzentration, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur wurde mit zwei Multifunktions-Messgeräten [testo 650, Testotherm;  $CO_2$ -Luftfeuchte-Temperatur-Sonde, Dräger Datenlogger] durchgeführt. Die Momentanwerte der Messgrößen wurden automatisch gespeichert und mittels einer speziellen Software ausgelesen und bearbeitet.

## 5.4 Luftdichtigkeitsmessungen

Zur Messung der Luftdichtigkeit wurde ein stationäres Differenzdruck-Verfahren angewendet [Blower-Door]. Mittels eines Gebläses wurde im Inneren des Gebäudes ein konstanter Überdruck oder Unterdruck erzeugt. Gemessen wurde die Gebäudedruckdifferenz und die dabei geförderte Luftmenge. Unter Einbeziehung des Luftvolumens des untersuchten Raumes wurde die Luftwechselrate pro Stunde bei einem Differenzdruck von 50 Pascal ( $n_{50}$ ) errechnet.

# 6. Ergebnisse

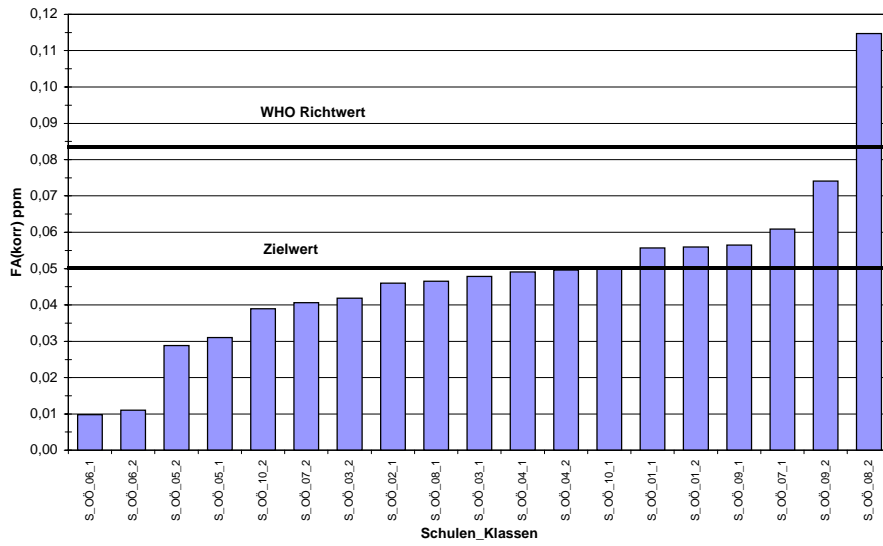
## 6.1 Ergebnisse Formaldehyd, VOC

Die in der Folge angegebenen Ergebnisse der Formaldehyduntersuchungen wurden mithilfe der umgeformten Andersen-Gleichung auf durchschnittliche Raumluftverhältnisse umgerechnet (Deutsche Gesellschaft für Holzforschung 1993). Für diese auf  $23^\circ C$  und 45 % rel. Luftfeuchtigkeit korrigierten Konzentrationen ergab sich ein Mittelwert von 0,050 ppm und ein Median von 0,049 ppm. Der niedrigste Wert lag bei 0,010 ppm, der höchste bei 0,115 ppm.

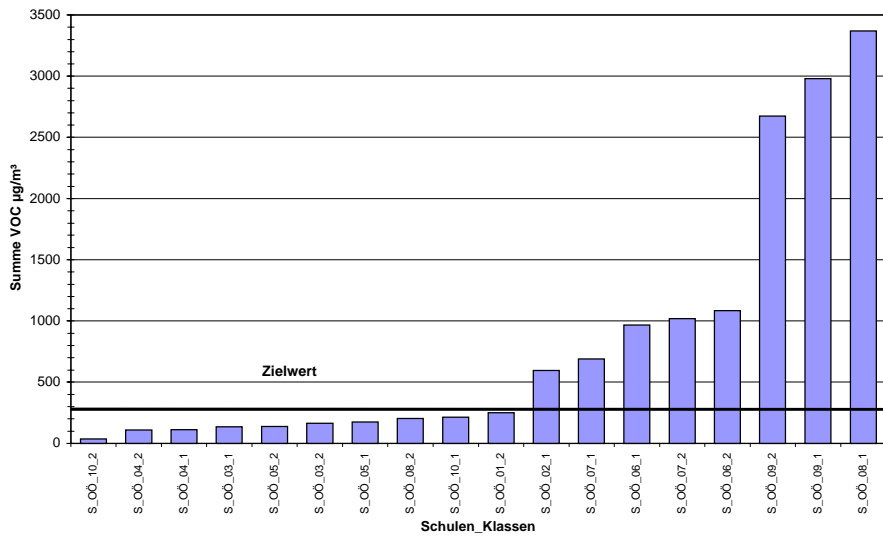
Für die Summe-VOC ergab sich ein Mittelwert von  $830 \mu g/m^3$  und ein Median von  $250 \mu g/m^3$ . Der niedrigste Wert lag bei  $40 \mu g/m^3$ , der höchste bei  $3400 \mu g/m^3$ .

Die folgenden Abbildungen zeigen summarische Ergebnisse der Untersuchungen auf Formaldehyd (korrigiert) und flüchtige organische Verbindungen (VOC).

**Abb. 1: Ergebnisse Formaldehyd - korrigiert nach Andersen-Formel**



**Abb. 2: Ergebnisse Summe-VOC**



## 6.2 Ergebnisse CO<sub>2</sub>

Die mittleren Konzentrationen an CO<sub>2</sub> lagen in allen untersuchten Klassenräumen im Bereich bzw. über dem Wert von 1000 ppm = 0,1 Vol%. Die maximalen Konzentrationen an CO<sub>2</sub> lagen in allen Klassen zum Teil deutlich über diesem Wert. Der höchste Wert wurde mit 6700 ppm = 0,67 Vol% gemessen.

Abb. 3: Ergebnisse Konzentration CO<sub>2</sub>

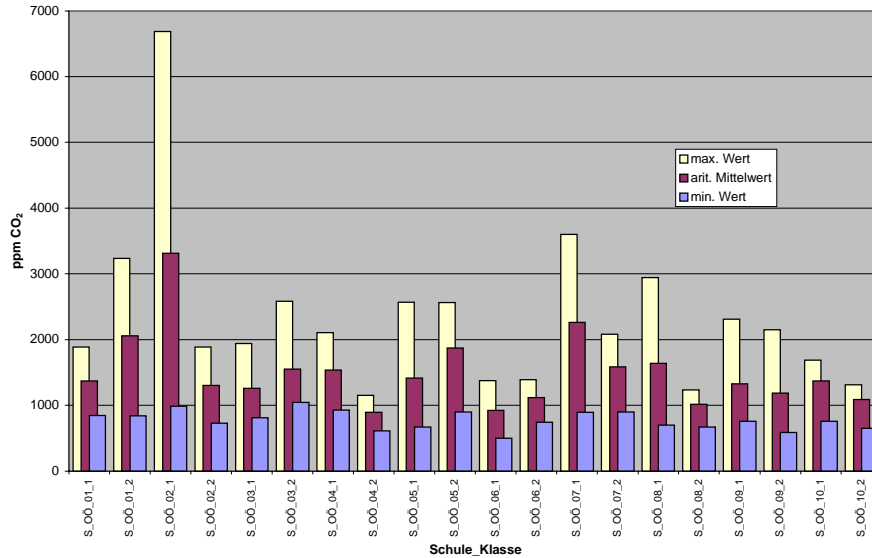
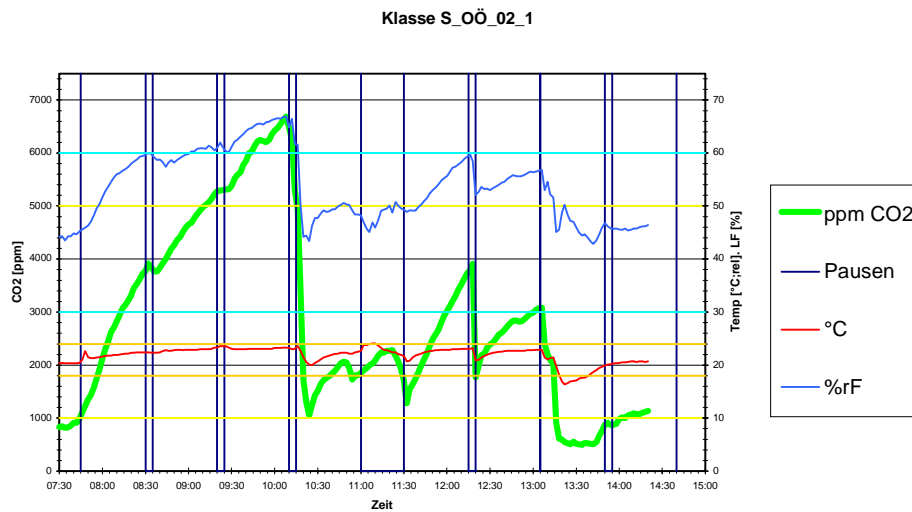


Abb. 4: Ergebnisse Konzentration CO<sub>2</sub>, Temperatur und rel. Luftfeuchte - Klasse S\_0Ö\_01\_1 (Beispiel eines Klassenraumes mit hohen Konzentrationen)



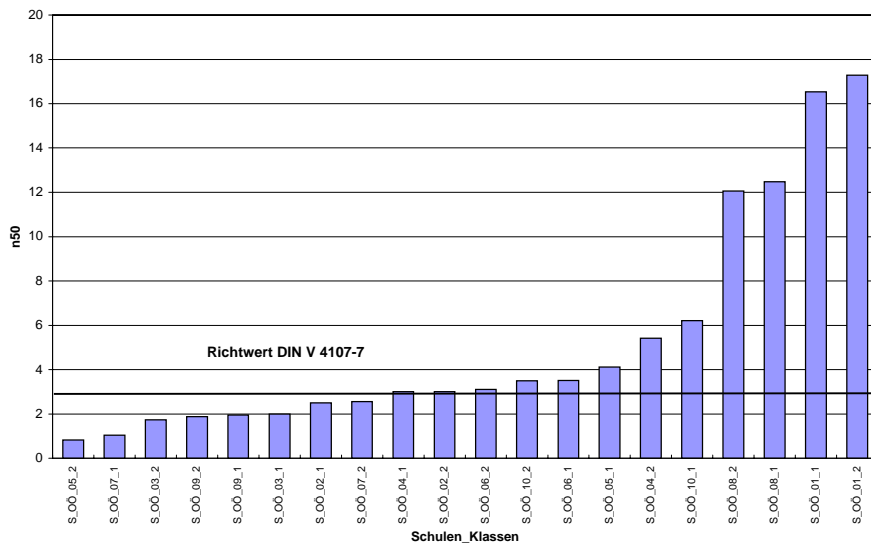
Die Abb. 4 zeigt deutlich den massiven Anstieg der Konzentration an CO<sub>2</sub> am Beginn der Messungen bei einer Belegung des Klassenraumes mit 20 - 23 Personen und vollständig geschlossenen Fenstern. Der Wert von 1000 ppm wurde schon zu Beginn des Unterrichts um 07:45 h überschritten. In den Pausen des Unterrichts wurde nicht gelüftet.

In der Pause zwischen 10:10 h und 10:15 h sowie zu Beginn der folgenden Unterrichtsstunde wurde gelüftet, was eine starke Senkung der Konzentration an CO<sub>2</sub> bewirkte. Ab diesem Zeitpunkt war der Raum nur mehr von 10 Personen benutzt, es wurde in diesem Zeitraum öfters gelüftet. Auf der Abb. 4 ist dies durch einen abgeflachten Anstieg sichtbar.

Ein steiler Anstieg ergab sich wieder bei Belegung der Klasse mit 21 Personen ohne Lüftung zwischen 11:30 h und 12:15 h. Ab 12:20 h war bei gleich hoher Belegung ein Fenster ständig gekippt, was zu einer Abflachung des Anstieges der Konzentration führte. Ab etwa 13:00 h wurde der Raum nicht mehr von Schülern benutzt.

### 6.3 Ergebnisse der Luftdichtheitsmessungen

Abb. 5: Ergebnisse n<sub>50</sub>-Werte (Blower-Door)



## 7. Bewertung der Ergebnisse der Studie

MAK-Werte (MAK Werte Liste 1995) werden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, da sie ausschließlich für Arbeitsplätze gelten, an denen mit gesundheitsschädlichen Substanzen hantiert wird. Dies trifft für Klassenräume in Schulen in der Regel nicht zu.

### 7.1 Bewertungsgrundlagen Formaldehyd

Durchschnittliche Werte von zum Teil nicht repräsentativen Untersuchungen in Innenräumen liegen im Bereich zwischen 0,03 ppm und 0,08 ppm (Krause et al. 1991; Tappler, Gann 1992).

Für Formaldehyd existieren eine Reihe von Grenz- und Richtwerten. Im folgenden werden die in Österreich am häufigsten verwendeten aufgelistet. Als Zielkonzentration nach Sanierungen bzw. als Vorgabe für schadstoffarme Gebäude dient häufig der Wert von 0,05 ppm (Deutsche Gesellschaft für Holzforschung 1993).

Tab. 1: Grenz- und Richtwerte für Formaldehyd

Formaldehyd	Raumluftkonzentration		Bemerkungen
	[ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]	
Produktsicherheitsbeirat, BM für Familie, Jugend und Konsumentenschutz (Produktsicherheitsbeirat 1985)	0,1	0,12	Grenzwertempfehlung für Innenräume, die nicht als Arbeitsplatz dienen
Bundesgesundheitsamt BGA	0,1	0,12	Richtwert BRD
Weltgesundheitsorganisation WHO (WHO 1996)	0,083	0,1	30' Richtwert
WIK - wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration (Akademie der Wissenschaften 1997)	0,04	0,05	Grenzkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit, auch für besonders empfindliche Gruppen.

### 7.2 Bewertungsgrundlagen VOC

Für einzelne VOC bzw. für den Parameter TVOC existieren im deutschsprachigen Raum eine Reihe von Grenz- und Richtwerten (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1996; Akademie der Wissenschaften 1997; Seifert 1999). Als (nicht toxikologisch begründete) Zielkonzentration dient häufig der Bereich von 0,2 – 0,3 mg/m<sup>3</sup>, dieser kann als hygienischer Vorsorgebereich verstanden werden (Seifert 1999).

Für Österreich sind mit Ausnahme punktueller Ergebnisberichte keine repräsentativen Studien publiziert, in denen die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen publiziert wurden. Der 1985/86 durchgeführte Umwelt-Survey zeigt die durchschnittliche Belastung für deutsche Wohnungen in den achtziger Jahren (Krause et al. 1991). Es ist zu berücksichtigen, dass sich das VOC-Spektrum in der Innenraumluft zwischenzeitlich durch das Auftreten früher nicht beobachteter Verbindungen (z.B. Glykolether und Aldehyde) und die deutliche Verringerung der Konzentrationen einiger Verbindungen (z.B. Halogenkohlenwasserstoffe) so verändert hat, daß die von Krause et al. aufgenommenen und angegebenen Werte nicht mehr der heutigen Situation



entsprechen. Neuere statistische Auswertungen der durch unterschiedliche deutsche Institute durchgeführten, jedoch nicht repräsentativen Raumlufthuntersuchungen geben Aufschluß über die Größenordnungen flüchtiger organischer Verbindungen in deutschen Wohnungen (Schleibinger et al. 2001; Scholz 1998; Plieninger 1998).

### **7.3 Bewertungsgrundlagen CO<sub>2</sub>**

Raumluft-Grenzwerte für CO<sub>2</sub> sind in Österreich nicht vorhanden.

Bei 1000 ppm = 0,1 Vol% (Pettenkofer-Zahl) empfinden rund 20 % der Personen die Raumlufth als unbefriedigend (BUWAL 1997). Bei Überschreitung dieses Wertes erhöht sich die Zahl der Personen, die die Luft als unbefriedigend empfinden, bei deutlicher Überschreitung dieses Wertes erfüllt die Raumlufth nach übereinstimmender Expertenmeinung nicht mehr die notwendige hygienischen Anforderungen.

Die Konzentration von 0,1 Vol% (teilweise auch 0,15 Vol%) dient als Grundlage zur Berechnung von minimalen Luftvolumenströmen in der Lüftungstechnik.

### **7.4 Bewertungsgrundlagen Luftdichtigkeitsmessungen**

Laut DIN V 4107-7 darf der Luftwechsel bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa den Wert von 3 h<sup>-1</sup> für natürlich belüftete Gebäude bzw. 1,5 h<sup>-1</sup> für raumlufthtechnische Anlagen nicht überschreiten. Für Niedrigenergie- und Passivhäuser werden niedrigere Werte, in der Regel unter 1 h<sup>-1</sup>, empfohlen. Diese Vorgaben gelten allerdings für Gebäude und nur in Sonderfällen für einzelne Räume, bei denen der interzonale Luftstrom zwischen den einzelnen Räumen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen kann. Die Vorgaben der DIN V 4107-7 wurden in Österreich in diverse Landesbauordnungen übernommen.

## **8. Bewertung der Ergebnisse der Studie**

### **8.1 Bewertung der Ergebnisse der Messungen auf Formaldehyd**

Die Konzentrationen an Formaldehyd lagen bis auf eine Ausnahme unter dem WHO-Richtwert bzw. dem Richtwert der Produktsicherheitskommission in Österreich (entsprechend Richtwert BGA in der BRD). Der Zielwert von 0,05 ppm wurde in 6 von 19 Klassen überschritten. Die auffällig erhöhte Konzentration in einem Klassenraum könnte mit Umbauarbeiten zusammenhängen, die 4 Monate vor der Messung in diesem Raum stattfanden.

### **8.2 Bewertung der Ergebnisse der Messungen auf VOC**

Die Konzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen (Summe-VOC) lagen in 10 von 18 Klassen im hygienischen Vorsorgebereich von maximal etwa 300 µg/m<sup>3</sup>. In 5 Räumen lag die Konzentration zwischen 500 und etwa 1000 µg/m<sup>3</sup>. In 3 Klassen lagen die Messwerte mit mehr als 1000 µg/m<sup>3</sup> in einem deutlich erhöhten Bereich. In den drei Klassen mit den höchsten Konzentrationen wurden typische, zum Teil stark aromatenhaltige Lösungsmittelfractionen detektiert.

Der No-Effect Level eines Gemisches flüchtiger Kohlenwasserstoffe liegt nach Mølhavé im Bereich von etwa  $0,2 \text{ mg/m}^3 = 200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  TVOC (Mølhavé 1990). Es ist daher zu erwarten, dass in einem Teil der untersuchten Klassenräume vor allem bei empfindlichen Menschen Beschwerden aufgrund erhöhter Konzentrationen an VOC auftreten. Tatsächlich traten in zwei der am höchsten belasteten Räumen VOC-typische Beschwerden auf. Eine Verifizierung der Zusammenhänge zwischen erhöhter Konzentration und den berichteten Beschwerden wurde im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Die auffällig erhöhte Konzentration in diesen Klassenräumen könnte mit Umbauarbeiten zusammenhängen, die etwa 2 Jahre vor der Messung in diesen Räumen stattfanden.

### 8.3 Bewertung der Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Messungen

In allen Klassen lagen die maximalen Konzentrationen an CO<sub>2</sub> zum Teil beträchtlich über dem Zielwert von 1000 ppm = 0,1 Vol%. Die Detailergebnisse (nicht angeführt) zeigen, dass dieser Wert in fast allen Klassen über längere Zeiträume überschritten wurde, in zwei Klassen wurde der Zielwert praktisch nie unterschritten. Dies bedeutet, dass in keiner der untersuchten Klassenräume eine ausreichende Frischluftzufuhr über längere Zeiträume gegeben war.

Es ist davon auszugehen, dass durch die zu geringe Frischluftzufuhr die Leistungsfähigkeit sowohl der Schüler als auch des Lehrpersonals in allen untersuchten Klassen zum Teil beträchtlich verringert ist. Die zu geringe Frischluftzufuhr betrifft vor allem kalte sowie warme Zeiten des Jahres (vor allem gegen Süden ausgerichtete Räume), in denen die natürliche Belüftung durch Fensterlüftung zeitweilig eingeschränkt werden muss. Prinzipiell sind jedoch alle Räume betroffen, da in Schulklassen permanent geöffnete Fenster in der Regel nicht zweckmäßig sind.

Weiters ist zu erwarten, dass das Raumklima von den Benutzern als unzureichend empfunden wird und dass gehäuft Beschwerden, die dem sogenannten Sick Building Syndroms zuzuordnen sind, auftreten können (Seppänen 1999).

Die Ergebnisse zeigten, dass bei gekippten Fenstern in den Klassen, in denen eine Querlüftung möglich war, eine signifikante Senkung des Anstieges bzw. ein Gleichbleiben der Konzentration an CO<sub>2</sub> beobachtet wurde. Bei Klassenräumen, in denen keine Querlüftung möglich war, wurde durch gekippte Fenster der Anstieg nur geringfügig reduziert. Auffällig war weiters, dass sich durch das kleinere Raumvolumen in Neubauten (geringe Pufferwirkung) die Belüftungssituation schlechter als in Altbauten darstellte. Verschärft wird dies durch die in Neubauten häufig anzutreffenden dichtere Fenster.

Weiters war bei den untersuchten Hauptschulen zu beobachten, dass sich die geringere Klassenschüleranzahl, verursacht durch die Bildung von Leistungsgruppen, positiv auf die Qualität der Raumluft in Hinblick auf CO<sub>2</sub> auswirkte.

## 8.4 Bewertung der Ergebnisse der Luftdichtigkeitsmessungen

Eine luftdichte Gebäudehülle stellt ein wichtiges Element zur Energieeinsparung und zur Herstellung der notwendigen Behaglichkeit dar. Hohe Werte sind mit einem erhöhten Energiebedarf des Gebäudes und mitunter mit anderen Problemen wie Zugerscheinungen verbunden. In 9 von 20 Klassen wurde der hilfsweise herangezogene Richtwert der DIN V 4107-7 für  $n_{50}$  von  $3 \text{ h}^{-1}$  signifikant überschritten (auf die Möglichkeit interzonaler Luftströmungen als Ursache hoher Werte wird hingewiesen).

Korrelationen zwischen den jeweiligen  $n_{50}$ -Werten und den Konzentrationen an Formaldehyd, flüchtigen organischen Verbindungen und  $\text{CO}_2$  konnten nicht festgestellt werden.

## 9. Empfehlungen

Die Quelle der in mehreren Klassenräumen nachgewiesenen erhöhten Konzentrationen an Formaldehyd bzw. flüchtigen organischen Verbindungen sollte aufgefunden werden. Anschließend kann eine Senkung der Konzentrationen herbeigeführt werden. Durch geeignete Materialauswahl bei Neu- oder Umbau von Klassenräumen soll sichergestellt werden, dass in Zukunft keine erhöhten Konzentrationen an Schadstoffen auftreten können.

Es werden für alle untersuchten Objekte geeignete Maßnahmen zur besseren Belüftung der Klassenräume empfohlen.

Allgemein ist ein geordnetes Lüftungsregime zur Verbesserung der Belüftungssituation zu empfehlen (regelmäßiges Pausenlüften, Querlüftung). Verstärktes Lüften kann zwar kurzfristig Frischluft bereitstellen, in zahlreichen Fällen müsste jedoch in unzumutbar kurzen Abständen gelüftet werden (vor allem bei energetisch optimierten Gebäuden). Als dauerhafte Lösung bietet sich daher der Einbau von gut gewarteten kontrollierten Raumbelüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung in bestehende und neu zu erbauende Schulgebäude an.

Die gemessenen  $n_{50}$ -Werte zeigen ein hohes Energieeinsparungspotential in der Mehrzahl der untersuchten Klassenräume. Schulräume, in denen ein  $n_{50}$ -Wert von über  $10 \text{ h}^{-1}$  gemessen wurde, bedürfen einer dringenden Sanierung, Objekte mit Werten zwischen  $3$  und  $10 \text{ h}^{-1}$  sollten punktuell saniert werden. Gebäude mit einem  $n_{50}$ -Wert von unter  $3 \text{ h}^{-1}$  können, wenn notwendig, ebenfalls punktuell optimiert werden.

## 10. Anmerkung

Vorliegende Arbeit stellt einen Teil einer Master-Thesis dar, die im Rahmen des Aufbaustudiums „Solararchitektur“ am Zentrum für Bauen und Umwelt der Donauuniversität Krems/ Österreich (Wissenschaftliche Betreuung: Peter Tappler) durchgeführt wurde. Die Langfassung kann nach Fertigstellung unter [zbu@donau-uni.ac.at](mailto:zbu@donau-uni.ac.at) bezogen werden.

## 11. Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema, Bundesgesundheitsblatt 39, 11, S. 422-426

Akademie der Wissenschaften (1997) Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien VOC, Band 2, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Österreich

AST-VO (1998) Arbeitsstättenverordnung Österreich: Verordnung des Bundesministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird, BGBl. II, Nr. 368/1998

BUWAL (1997) Luftqualität in Innenräumen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287

De Bortoli et al. (1986) Concentrations of selected organic pollutants in Indoor and outdoor air in northern Italy, Environment International 12, pp. 343-350

Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (1993) Merkblatt - Richtlinie: Durchführung von Formaldehydmessungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen, Empfehlungen für Minderungsmaßnahmen

ECA (1990) Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries, Report No. 7, COST Project 613, Commission of the European Communities

Krause C. et al. (1991): Umwelt Survey Band IIIc Wohn-Innenraum: Raumluft; WaBoLu-Hefte 4/1991, Institut für Wasser- Boden- und Lufthygiene, Berlin.

MAK Werte Liste (1995) Kundmachung des Bundesministers für Arbeit und Soziales vom 28.12.1994, Zahl 61.720/10-4/94, über Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Technische Richtkonzentrationen, veröffentlicht in den Amtlichen Nachrichten Arbeit-Gesundheit-Soziales, SN 2/1993, Österreich, erschienen im Juni 1995

Müller-Limroth (1977) zit. in Luftqualität in Innenräumen (1997) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287

Mølhav L. (1990) Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health, in INDOOR AIR '90- Proc. 5<sup>th</sup> Internat. Conf. of Indoor Air Quality and Climate, Toronto Canada, Vol. 5, pp. 15-33

ÖBIG (1995) Luftverunreinigungen in Innenräumen, Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Eigenverlag

Plieninger P. (1998) Ester und Ether mehrwertiger Alkohole in der Raumluft – Eine repräsentative Untersuchung in 200 Berliner Haushalten, in Gebäudestandard 2000 : Energie & Raumluftqualität, 4. AGÖF Fachkongress, Nürnberg, S. 220-224

Produktsicherheitsbeirat (1985) Produktsicherheitsbeirat am Bundesministerium für Familie, Jugend und Konsumentenschutz, Sitzungsprotokoll vom 04.03.1985

Schleibinger H. et al. (2001) VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum von 1988 bis 1999, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 51, Jan/ Feb 2001, S. 26-38

Scholz H. (1998) Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung, in Gebäudestandard 2000 : Energie & Raumluftqualität, 4. AGÖF Fachkongress in Nürnberg, S. 205-214

- Seifert B. (1990) Flüchtige Organische Verbindungen in der Innenraumluft, in Bundesgesundheitsblatt 3/90, S. 111-115
- Seifert B. (1999) Richtwerte für die Innenraumluft – Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), Bundesgesundheitsblatt 42/99, Springer Verlag, S. 270-278
- Seppänen O. et al. (1999) Association of Ventilation Rates and CO<sub>2</sub> Concentrations with Health and Other Responses in Commercial and Institutional Buildings, in Indoor Air 9/1999 , pp. 226-252
- Tappler P., Gann M. (1992) Formaldehydbelastung in österreichischen Innenräumen in Zeitraum 1990-1992, in Tagungsband der 12. Jahrestagung des IBO "Sick Building Syndrom", Eigenverlag IBO 1992
- Tappler P. et al. (1997) Formaldehyd und Luftwechsel in Österreichischen Fertigteilhäusern; Studie, beauftragt vom Bundesministerium für Gesundheit und Konsumentenschutz, IBO-Verlag, 60 Seiten
- Tappler P. (2001) persönliche Mitteilung
- Wallace L.A., Pellizari E. et al. (1986) Total exposure assessment methodology (TEAM) study: Personal exposure, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey, in Environment International 12, pp. 369-387
- Wargotzki P. et al. (1999) Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads, in Indoor Air 9/1999 , pp. 165-179
- Wargotzki P. et al. (2000) The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity, in Indoor Air 10/2000 , pp. 222-236
- WHO (1996) WHO - Regional Office for Europe: Updating and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe. Report on a WHO Working Group on Volatile Organic Compounds, <http://www.who.dk/envhlth/airqual.htm>.