

ADALBERT STIFTER  
VOLKSSCHULE



# Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder und Jugend

Zusammenfassung der Ergebnisse des Messprogramms  
in Oberösterreichs Pflichtschulen, Berufsschulen und  
landwirtschaftlichen Fachschulen

## Projektmitarbeiter

Achleitner Manfred <sup>1</sup>  
Benesch Tobias <sup>5</sup>  
Bernreiter Markus <sup>2</sup>  
Brandl Alexander <sup>6</sup>  
Buchwiser Leo <sup>1</sup>  
Damberger Bernhard <sup>4</sup>  
Edtstadler Thomas <sup>1</sup>  
Gruber Valeria <sup>7</sup>  
Gruber Wolfgang <sup>1</sup>  
Hrnecek Erich <sup>5</sup>  
Hofstädter Cornelia <sup>1</sup>  
Hutter Hans-Peter <sup>8</sup>  
Jansson Marie <sup>4</sup>  
Kaineder Heribert <sup>1</sup>  
Kaltenberger Johann <sup>1</sup>  
Kernöcker Robert <sup>1</sup>  
Kirsch Renate <sup>1</sup>  
Leonhartsberger Doris <sup>1</sup>  
Maringer Franz Josef <sup>5,7</sup>  
Markowetz Thomas <sup>1</sup>  
Mittermayr-Rauch Elke <sup>1</sup>  
Mühlberger Albert <sup>1</sup>  
Nadschläger Erwin <sup>1</sup>  
Powolny Roland <sup>1</sup>  
Ringer Wolfgang <sup>2</sup>  
Sperker Sigrid <sup>1</sup>  
Schinerl Adolf <sup>1</sup>  
Tappler Peter <sup>3,4</sup>  
Twrdik Felix <sup>4</sup>  
Wihlidal Heinz <sup>5</sup>  
Winkler Günther <sup>1</sup>  
Zeisel Andreas <sup>1</sup>



## Beteiligte Institutionen

- 1 Land Oberösterreich: Umwelt- und Anlagentechnik (Bau- und Sicherheitstechnik, Umwelttechnik, Umweltüberwachung); Bildung, Jugend und Sport; Jugendwohlfahrt; Landessanitätsdirektion; Statistik
- 2 Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Agrarbiologie Linz
- 3 Donauuniversität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt
- 4 Innenraum Mess- und Beratungsservice, Wien
- 5 ARC Seibersdorf research GmbH, Low-Level Counting Labor Arsenal, Wien
- 6 Oberösterreichischer Energiesparverband
- 7 Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung
- 8 Universität Wien, Institut für Umwelthygiene

## Danksagung

Das Projektteam richtet seinen herzlichen Dank für die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchung an die beteiligten Personen der Schulen und Schulerhalter. Ohne deren aktive Teilnahme und tatkräftige Kooperation wäre die vorliegende Studie nicht erfolgreich zu verwirklichen gewesen.

# **Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder und Jugend**

Ergebnisse des Messprogramms zur Erhebung der Innenraumluftqualität, der akustischen Verhältnisse und bauphysikalischer Qualitätsfaktoren in Oberösterreichs Pflichtschulen, Berufsschulen und landwirtschaftlichen Fachschulen

## **Zusammenfassender Endbericht**

### **Projektkoordination**

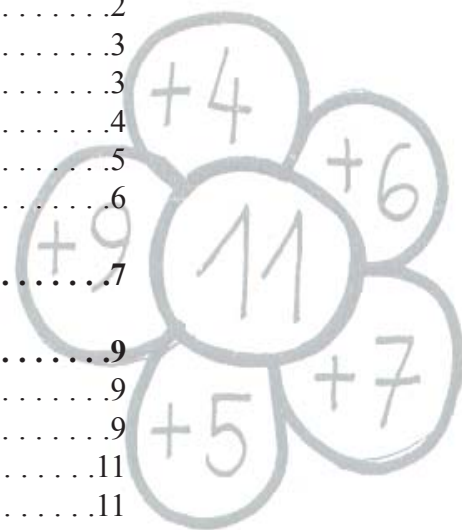
Erwin Nadschläger, Heribert Kaineder, Cornelia Hofstädter  
Land Oberösterreich  
Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik, Umwelttechnik, Linz

### **Wissenschaftliche Gesamtleitung**

Franz Josef Maringer  
ARC Seibersdorf research GmbH, Umweltforschung  
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung

# Inhalt

Projektmitarbeiter .....	2
Beteiligte Institutionen .....	2
Danksagung .....	2
Projektkoordination .....	3
Wissenschaftliche Gesamtleitung .....	3
Inhalt .....	4
Vorwort .....	5
Kurzfassung .....	6
<b>1 Motivation und Ziele .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Medizinische Gesichtspunkte .....</b>	<b>9</b>
2.1 Radon im Innenraum .....	9
2.2 Chemische Innenraumschadstoffe .....	9
2.3 Kohlenstoffdioxid .....	11
2.4 Schimmel .....	11
<b>3 Methoden und Durchführung .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>13</b>
4.1 Fragebogenerhebung .....	13
4.2 Allgemeine Gebäude- und Nutzungsdaten .....	14
4.3 Radon .....	16
4.4 Chemische Innenraumlufschadstoffe .....	19
4.4.1 Formaldehyd und weitere Aldehyde .....	19
4.4.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC) .....	20
4.4.3 Pentachlorphenol (PCP), Lindan .....	21
4.4.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB) .....	22
4.5 Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ) und Raumklima .....	22
4.6 Geruchsbelästigungen .....	25
4.7 Schimmelbildung .....	26
4.8 Zugluft und Gebäudedichtheit .....	28
4.9 Akustik .....	30
4.10 Lärm .....	32
<b>5 Maßnahmen .....</b>	<b>35</b>
5.1 Radon .....	35
5.2 Chemische Innenraumlufschadstoffe .....	35
5.3 Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ) und Raumklima .....	36
5.4 Geruchsbelästigungen .....	37
5.5 Schimmelbildung .....	37
5.6 Zugluft und Gebäudedichtheit .....	37
5.7 Akustik .....	38
5.8 Lärm .....	39
<b>6 Resümee und Ausblick .....</b>	<b>40</b>



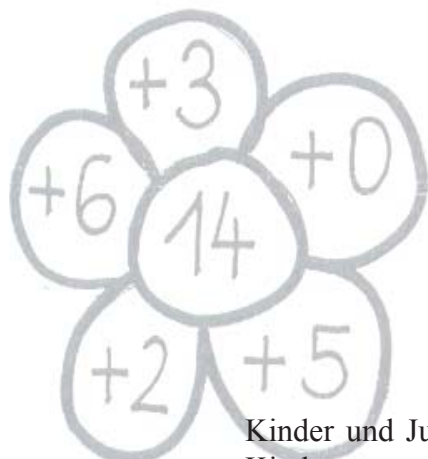
1 + 4 = 14

1 + 6 = 17

1 + 7 = 18

1 + 5 = 16

1 + 9 = 20



### Sehr geehrte Damen und Herren!

Kinder und Jugendliche verbringen fast ein Drittel ihrer Tageszeit in unseren Schulen, Kindergärten oder -krippen. Ein gesundes und behagliches Raumklima ist daher ganz besonders wichtig. Die Umweltabteilung des Landes Oberösterreich hat referatübergreifend im Einvernehmen mit der für Aufsicht und Erhaltung zuständigen Abteilung Bildung, Jugend und Sport im Sinne eines nachhaltigen Umweltschutzes die Innenraumsituation in den oberösterreichischen Schulen erhoben. Damit wird eine Grundlage geschaffen, um die Qualität weiter zu verbessern, da mögliche Missstände aufgedeckt und beseitigt werden können.

Ein Hauptaugenmerk wurde dem natürlichen Edelgas Radon gewidmet, das sich unter bestimmten Voraussetzungen in den Gebäuden in solchen Mengen anreichern kann, dass gesundheitliche Schäden nicht auszuschließen sind und das Lungenkrebsrisiko ansteigt. Zusätzlich wurde in der Studie auch auf andere Belastungsfaktoren geachtet. Schimmel, Luftschadstoffe, Geruchsbelästigungen, Kohlenstoffdioxid und raumphysikalische Faktoren wie Zugerscheinungen, Gebäudedichtheit, akustische Verhältnisse und Lärm wurden umfassend untersucht.

Die Gebäude, in denen Schulen untergebracht sind, wiesen im allgemeinen einen sehr hohen Qualitätsstandard auf und nur in Einzelfällen zeigten sich Schwachstellen. Dort wo Handlungsbedarf bestand, wurden die Verbesserungsmaßnahmen bereits umgesetzt. Die aus der Untersuchung gewonnenen Hinweise und Erfahrungen werden in zukünftigen Planungen von Neubauten oder Sanierungen einfließen.

Kinder und Jugendliche sind unsere Zukunft, die Gestaltung eines nachhaltigen zukunftsorientierten Lebensraums zu ihrem Wohle ist unsere Herausforderung. Ich danke allen, die sich dafür einsetzen, sehr herzlich und wünsche für die Zukunft weiterhin viel Erfolg!

Ihre

**Dr. Ulrike Jäger**

Leiterin der Abteilung  
Umwelt- und Anlagentechnik

## Kurzfassung

In einer Nachfolgestudie zum Projekt 'Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder - Messprogramm in Oberösterreichs Kindergärten' wurden im Zeitraum Oktober 2001 bis Jänner 2003 die Innenraumluftqualität, die akustischen Verhältnisse und die bauphysikalischen Qualitätsfaktoren in Oberösterreichs Pflicht- und Berufsschulen sowie landwirtschaftlichen Fachschulen erhoben und bewertet.

Von den insgesamt 926 Schulen haben sich 803 durch die Rücksendung des Fragebogens am Projekt beteiligt. Das entspricht einer Rücklaufquote von 86,7 %. Für die weitere Auswertung wurden 793 Schulen herangezogen, da in den restlichen Schulen bereits eine Generalsanierung, Neubau, etc. durchgeführt wurde oder unmittelbar bevorstand.

Nach Erfassung sämtlicher Erhebungsergebnisse in der Datenbank und deren Sichtung, Verknüpfung und Bewertung wurden an Schulen, bei denen sich Verdachtsmomente auf erhöhte Belastungsfaktoren ergaben, Erhebungen vor Ort (Schimmelbefall) und messtechnische Bestimmungen (Radonkonzentration, Gebäudedichtheit, Innenraumluftschadstoffe, Akustik) durchgeführt.

Die Verknüpfung, Zusammenschau und Bewertung der so erhobenen Daten ergaben, dass in 90 % - 95 % der teilnehmenden Schulen keine gesundheitlichen Risiken hinsichtlich erheblichem Schimmelbefall, chemischen Innenraumschadstoffen und Radon bestehen.

Auf Basis sämtlicher Erhebungen mittels Fragebogen, Messungen und fachkundiger Begehungen wurden Maßnahmen zur Behebung offensichtlich gewordener Mängel empfohlen. Darüber hinaus wurden aus den Erfahrungen der Studien Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen bei zukünftigen Schul- und Kindergartenneubauten zur Sicherung der Innenraumluftqualität, Akustik und bauphysikalischen Qualität ausgearbeitet.

Die individuellen Erhebungs- und Messdaten werden in allen Veröffentlichungen ausschließlich anonymisiert (mit einer Schulidentifikationsnummer SID) wiedergegeben. Die jeweiligen konkreten Erhebungs- und Messwerte wurden vorab ausschließlich an die betroffenen Erhalter weitergegeben.

Sämtliche Detailergebnisse der Erhebung sind im technisch-wissenschaftlichen Endbericht dokumentiert.



# 1 Motivation und Ziele

Im Mai 2001 wurde das Messprogramm in den oberösterreichischen Kindergärten im Rahmen des Projekts des Landes 'Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder - Messprogramm in Oberösterreichs Kindergärten' abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in einem Bericht veröffentlicht. In weiterer Folge wurde seitens des Landes Oberösterreich beschlossen, die Untersuchungen und Bewertung der Innenraumluftqualität, der akustischen Verhältnisse sowie bauphysikalischer Qualitätsfaktoren auf Oberösterreichs Pflicht-, Berufsschulen und landwirtschaftliche Fachschulen sowie Oberösterreichs Kinderbetreuungseinrichtungen (eigene Publikation) auszuweiten.

In Industrieländern hält sich der Mensch durchschnittlich mehr als 90 % seiner Lebenszeit in Innenräumen auf, sei es im Wohnbereich, in Kindergärten und Schulen oder am Arbeitsplatz. Daher kann qualitativ minderwertige Raumluft das Wohlbefinden vermindern oder zu einem gesundheitlichen Risiko werden. Untersuchungen zeigen, dass die Luft in geschlossenen Räumen häufig stärker mit Schadstoffen belastet ist als die Außenluft.

Zahlreiche Befindlichkeitsstörungen und Erkrankungen werden auf schlechtes Raumklima zurückgeführt. Schadstoffe in Innenräumen rücken in den Mittelpunkt des Interesses, wenn Kinder und Jugendliche, die oft empfindlicher reagieren, betroffen sind.

Das Lüftungsverhalten der Raumnutzer ist der technologisch bedingten steigenden Dichtheit der Gebäude nicht immer ausreichend angemessen. Menschliche Aktivitäten beeinflussen nachhaltig die Innenraumluftqualität z.B. durch Stoffwechselprodukte (vor allem CO<sub>2</sub>), die über die Atmung oder die Haut abgegeben werden, ebenso durch das Reinigen der Innenräume sowie durch Hobby- und Bastelaktivitäten. Baustoffe und Materialien der Innenausstattung können zusätzliche Belastungsfaktoren darstellen.

Ein Schwerpunkt bei der Erfassung der Qualität der Innenraumluft in den oberösterreichischen Schulen stellt aufgrund der geologischen Situation des Landes das Radon dar. Radon ist ein natürliches radioaktives Gas, das vor allem aus dem Boden in Häuser eindringt. Bei chronisch erhöhter Radonexposition steigt das Lungenkrebsrisiko.

Nichtunterkellerte Unterrichtsräume im Untergeschoß von Schulen sind durch den Kontakt des Fußbodens (und in Hanglagen zusätzlich der Wände) mit dem umgebenden Erdreich besonders radongefährdet. Daher ist die Erhebung der Radonsituation in Schulen mit erdberührten Unterrichtsräumen in Radonrisikogebieten im Hinblick auf die gegebenenfalls notwendige bauliche Vorsorge und Sanierung von hoher Priorität für die allgemeine Gesundheitsvorsorge der Bevölkerung des Bundeslandes.

Eine umfassende und detaillierte Erhebung und Bewertung der Radonsituation in Schulen bekommt im Zuge der Umsetzung der EU-Strahlenschutzrichtlinie, die die Radonproblematik an Arbeitsplätzen aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht regelt, eine wesentliche Bedeutung hinsichtlich der in den Schulen tätigen Personen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde der Lüftungssituation in Unterrichtsräumen besondere Beachtung geschenkt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in Innenräumen ist eine Maßzahl für die Qualität der Raumluft in Bezug für menschliche Ausdünstungen, die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können. Auf Basis der Untersuchungen in diesem Projekt wurde ein Modell entwickelt, das die Planung einer CO<sub>2</sub>-optimierten Nutzung von Unterrichtsräumen bei vorgegebenen Rahmenbedingungen (Raumgröße, Schüleranzahl etc.) ermöglicht.

Für die in Schulen untergebrachten Kinder gibt es keine gesetzlichen Regelungen in Bezug auf die Luftqualität. Auch für Arbeitsplätze in Schulen existieren derzeit keine gesetzlichen Grenzwerte für Schadstoffe. Im Landesbedienstetenschutzgesetz sind ledig-

lich allgemeine Regelungen für Arbeitsräume zu finden. Für einige der Faktoren, die im Rahmen der vorliegenden Studie erfasst wurden (z.B. Radon, Lärm, VOC), existieren Richtwerte offizieller Gremien.

Daten über die Schadstoff- und Radonsituation in österreichischen Schulen liegen nur in wenigen Fällen und objektbezogen vor. Vereinzelt existieren Daten aus dem deutschen Bereich, dies jedoch nur hinsichtlich bestimmter Einzelstoffe. In Studien in Deutschland zeigte es sich, dass Luftschadstoffe in den Innenräumen von Kindergärten und Schulen durch nicht ausreichende Belüftung angereichert werden. Dadurch entsteht eine vielfach höhere Belastung als im Außenbereich.

### Die grundlegenden Ziele dieser Studie sind:

- Die Erfassung der Ist-Situation der Radonbelastung, der Belastung mit organisch-chemischen Innenraumluftschadstoffen und der bauphysikalischen Gegebenheiten, wie Gebäudedichtheit und Raumakustik sowie der Lärmbelastung in den Pflichtschulen, Berufsschulen und landwirtschaftlichen Fachschulen Oberösterreichs unter Miterhebung sämtlicher relevanter Gebäude- und Umgebungsfaktoren.
- Die Beschaffung einer umfassenden Information über die Innenraum- und CO<sub>2</sub>-Situation für Schulerhalter und Landesdienststellen.
- Die Bewertung der Erhebungsergebnisse hinsichtlich möglicher Beeinträchtigungen der Gesundheit und des Wohlbefindens der Kinder/Jugendlichen und des Personals.
- Die Erstellung eines Maßnahmenkatalogs und einer Handlungsempfehlung für die verantwortlichen Stellen zur Lösung von Einzelproblemen und zur Vorsorge bei Neubauten und hinsichtlich einer qualitätsoptimierten Nutzung von Unterrichtsräumen.
- Die Erstellung einer grundlegenden Datenbasis als generelle Handlungsgrundlage für planende Organe hinsichtlich Sanierung von bestehenden und Vorsorge bei neu zu errichtenden Gebäuden.
- Die Ableitung von Empfehlungen für begleitende Veranlassungen (z.B. Fortschreibung der Radonrisikokarte, Ausweitung auf ähnliche öffentliche Gebäude, wie Amtsgebäude).





## 2 Medizinische Gesichtspunkte

### 2.1 Radon im Innenraum

Radon ist die wichtigste Quelle der natürlichen Strahlenbelastung des Menschen, wobei ein wesentlich höherer Teil der Belastung Innenräumen zugeordnet werden muss, als der Belastung im Freien.

Bei der Erforschung von Lungenkrebserkrankungen bei Uranbergarbeitern wurde ein Zusammenhang mit der Radonexposition im Stollen hergestellt. Die Inhalation der kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radons führt zu einer relativ hohen Strahlenbelastung des Bronchialepithels durch Alphastrahlen. Festzuhalten ist, dass in einem Vergleich der Risikoabschätzung durch Tabakrauchen, auf das geschätzte 80 - 90 % aller Lungenkrebsfälle zurückgeführt werden, ein wesentlich höheres Risiko besteht als durch die natürliche Exposition durch Radon.

Da ein Zusammenhang zwischen Exposition und Tumorentstehung, modifiziert (verstärkt) durch andere Faktoren (z.B. zusätzliches Tabakrauchen) nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann, ist es ein umwelthygienisches Anliegen, krebserzeugende Substanzen in der unmittelbaren Umgebung (hier Innenraum) zu reduzieren. Zudem muss die in Entwicklung stehende Lunge von Kindern als empfindlicher angesehen werden.

### 2.2 Chemische Innenraumschadstoffe

#### Formaldehyd

Formaldehyd ist in Leimen und Holzwerkstoffplatten, vor allem in Spanplatten, enthalten. Es ist ein stechend riechendes Gas mit niedrigem Geruchsschwellenwert, das akut stark schleimhautreizend auf den oberen Respirationstrakt (z.B. Nase) und Augen wirkt. Von empfindlichen Personen wird das Gas bereits ab Konzentrationen von  $0,06 \text{ mg/m}^3$  wahrgenommen.

Ab dem Konzentrationsbereich von  $1 \text{ mg/m}^3$  sind irritative Erscheinungen (z.B. Augenreizungen) praktisch von jedem wahrnehmbar. Weitere Beschwerden betreffen Reizungen der Atemwege, sowie Stechen in Nase und Rachen. Hinsichtlich der chronischen Toxizität werden eine sensibilisierende Wirkung auf den Atemtrakt aber ebenso auf Grund von Tierversuchen ein krebserregendes Potential diskutiert.

#### Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Flüchtige organische Verbindungen werden in Innenräumen vor allem in organischen Lösungsmitteln, Klebern, Schäumen und bestimmten Kunststoffen sowie in diversen Haushaltschemikalien eingesetzt und von diesen Materialien auch an die Raumluft abgegeben. Materialien der Innenausstattung, Möbel sowie Bautenlacke können als Hauptquellen von VOC in Innenräumen angesehen werden. Organische Lösungsmittel für Kleber, Farben und Lacke sind dabei in der Regel Gemische aus Toluol, verschiedenen Estern, Xylolen und Alkoholen, daneben können diverse andere aliphatische und aromatische Verbindungen enthalten sein. Neben diesen Quellen existiert eine Reihe weiterer im Einzelfall nicht zu vernachlässigender Ursachen für erhöhte Belastungen. Zusätzlich gelangen VOC auch über die Außenluft in Innenräume.

Wenn keine signifikanten Quellen im Raum oder dessen Umgebung vorhanden sind, übersteigt die Konzentration einzelner VOC nur in seltenen Fällen Werte zwischen  $10$  und  $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Für viele VOC liegt sie im Mittel unter  $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Die Gesamtkonzentration an VOC bewegt sich in Wohnungen im Mittel in der Größenordnung von einigen 100 µg/m<sup>3</sup>.

Theresa Böttchen

Auswirkungen einzelner VOC auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen umfassen ein weites Spektrum, das von sensorischen Wirkungen bereits bei niedrigen Konzentrationen bis hin zu meist erst bei höheren Konzentrationen auftretenden toxischen Langzeiteffekten reicht. Von besonderer Bedeutung ist, dass es sich bei einem Teil der für niedrigere Konzentrationen angegebenen Effekte um Sinneswahrnehmungen oder andere Wirkungen handelt, die sich der Überprüfung im Tierversuch weitgehend oder gar vollständig entziehen.

### **Pentachlorphenol**

Pentachlorphenol war in Holzschutzmitteln enthalten, die bis in die achtziger Jahre großflächig auch im Innenraumbau angewendet wurden. Aufgrund der chemischen Eigenschaften (z.B. Persistenz, Anlagerung an Stäube) ist der Nachweis auch über längere Zeiträume nach der Anwendung möglich.

Bei Aufenthalt von Personen in Räumen, in denen PCP-haltige Mittel angewendet worden sind, wurde vereinzelt über unspezifische Beschwerden (Kopfschmerzen, Übelkeit, Atembeschwerden, Schlafstörungen, Abgeschlagenheit, sowie Reizungen von Haut und Schleimhäuten) geklagt. Da derartige unspezifische Gesundheitsbeschwerden durch sehr unterschiedliche Ursachen ausgelöst werden können, ist eine eindeutige Ursachen-erhebung für diese unspezifischen Beschwerden oft nur schwer möglich.

In Einzelfällen traten schwere Erkrankungen bei Holzschutzmittel-Anwendern auf, für die ein ursächlicher Zusammenhang mit PCP aber nicht zu beweisen, allerdings auch nicht zu widerlegen war. Hinter den häufig beschriebenen längerfristigen Krankheitssymptomen wurden unter anderem auch Verunreinigungen, v.a. des technischen PCP durch Polychlorierte Dibenzodioxine und Polychlorierte Dibenzofurane als Auslöser vermutet.

Einige tierexperimentelle Untersuchungen zeigen neben anderen Wirkungen eine eindeutige kanzerogene Wirkung von PCP, es gilt daher grundsätzlich das Minimierungsgebot. Der epidemiologische Nachweis, dass PCP auch beim Menschen bösartige Neubildungen hervorrufen kann, konnte bislang nicht erbracht werden.

### **Lindan**

Lindan war ebenso wie PCP u.a. in Holzschutzmitteln enthalten und kann über die Atemluft, die Nahrung und Hautkontakt aufgenommen werden. Aufgrund der Fettlöslichkeit verteilt es sich über das Blut in Fettgewebe und verschiedene Organe.

In hohen Dosen wirkt Lindan neurotoxisch. Die Symptomatik der akuten Toxizität von Lindan für Menschen entspricht jener anderer chlorierter zyklischer Kohlenwasserstoffe. Akute Vergiftungen treten nur bei unsachgemäßer Handhabung im direkten Umgang mit der Substanz auf.

Chronische Lindanvergiftungen äußern sich in einer Aktivitätssteigerung von Leberenzymen, in einer (weitgehend reversiblen) Lebervergrößerung, motorischen Störungen und einer Degeneration des Nervensystems. Bei intensivem Lindan-Kontakt wurden Knochenmarksschädigungen beobachtet, die häufig Anämien (Blutarmut) zur Folge hatten.

## **Polychlorierte Biphenyle PCB**

Polychlorierte Biphenyle - eine aus vielen Einzelkomponenten (Kongeneren) bestehende Gruppe von unpolaren Organochlor-Verbindungen - sind in der Umwelt weit verbreitet und waren in Dichtungsmassen bei Betonfertigteilen enthalten. Schlechte Wasserlöslichkeit und hohe chemische Reaktionsträgheit sind verantwortlich für ihre Stabilität, so dass sie trotz Produktionseinschränkungen als Verunreinigungen in der Umwelt nachgewiesen werden können.

Die akute Toxizität von PCB-Gemischen ist relativ gering. Erkennbare Effekte werden erst nach längerer Belastung sichtbar. Symptome chronischer Vergiftungen beim Menschen wurden erst bekannt, als 1968 im japanischen Yusho über 10.000 Personen versehentlich kontaminiertes Reisöl (enthielt u.a. PCB) verzehrt haben. Es traten u.a. Veränderungen der Haut und Störungen des Immunsystems auf.

Im Tierversuch wurden bei niedrigen Dosierungen und chronischer Exposition mit PCB vielfältige toxische Effekte beobachtet. Im Vordergrund stehen Wirkungen auf die Leber.

Einige epidemiologische Untersuchungen an beruflich exponierten Personen und Yusho-Patienten weisen im Zusammenhang mit PCB-Exposition auf eine kanzerogene Wirkung beim Menschen hin.

Weiters wurden Zusammenhänge zwischen PCB-Belastung und Reproduktionstoxizität beobachtet. Aus epidemiologischen Studien aus den USA wurde eine höhere Bedeutung der pränatalen Belastung mit PCB abgeleitet.

## **2.3 Kohlenstoffdioxid**

Kohlendioxid wird u.a. bei Verbrennungsprozessen (z.B. Kochen mit Gas) und beim Atmen freigesetzt. Es erlangt in Gemeinschaftseinrichtungen, insbesondere bei hohen Belegungsdichten und unzureichenden Lüftungssituationen Bedeutung. Kohlendioxid wird als Indikator für "verbrauchte" Luft herangezogen und dient damit einer orientierenden Abschätzung des Luftwechsels. Von den im Raum befindlichen Personen werden neben CO<sub>2</sub>-Geruchsstoffen auch weitere flüchtige Substanzen an die Umgebungsluft abgegeben, so dass für von außen eintretende Personen der Eindruck "verbrauchter" oder "schlechter" Luft auftritt.

Obwohl CO<sub>2</sub> in der Regel kein unmittelbares Gesundheitsrisiko darstellt, können jedoch ab bestimmten Konzentrationen Befindlichkeitsstörungen wie z.B. Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit, Konzentration und Kopfschmerzen auftreten. Eine Zusammenschau von Studien zu gesundheitlichen Wirkungen und Kohlendioxid zeigt, dass sich mit zunehmender CO<sub>2</sub>-Konzentration die sogenannten Sick-Building-Syndrom-assoziierten Beschwerden (z.B. Reizungen und Trockenheit von Schleimhäuten, Müdigkeit, Kopfschmerzen) ebenfalls steigern. Im Organismus wird durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen das Atemzentrum angeregt, was zu einer vermehrten Atmung führt.

## **2.4 Schimmel**

Schimmelpilze sind ein fixer Bestandteil unserer mikrobiologischen Umgebung. Für das Wachstum von Schimmelpilzen ist ein bestimmtes Temperaturniveau, eine bestimmte Luftfeuchtigkeit und ein bestimmter Nährboden notwendig. "Schwüles Klima" fördert das Schimmelwachstum.

Bestimmte Arten bilden zur Vermehrung Sporen, die an die Luft abgegeben und wie Staub mit der Luftbewegung weiter transportiert werden. Sporen sind immer in unserer Umgebungsluft vorhanden. Wenn sich entsprechende Vermehrungsbedingungen einstellen,

kommt es zu Schimmelwachstum. Es kommt dann zu sogenannten Schimmelpilzrasen (Mycelbildung), an Stellen mit erhöhter Materialfeuchte. Als Hauptursachen für erhöhte Feuchtigkeit in Räumen sind bauliche Schwachstellen (z.B. Wärme/Kältebrücken, Baufeuchte, aufsteigende Feuchte infolge fehlender Sperrschichten zum Erdreich) oder Mängel im Beheizungs-/Belüftungsregime (z.B. falsch verstandene Energiesparmaßnahmen) zu nennen. Beim Zusammentreffen der entsprechenden Wärme-/Feuchtigkeitskonstellation wird Wachstum von Mikroorganismen stark gefördert. Die dabei frei werdenden chemischen Substanzen verursachen den charakteristischen, modrigen Geruch. Weitere sichtbare Schäden können Bewuchs mit "Pilzrasen", Materialschäden und Verfärbungen sein.

### Wirkungen auf den Menschen / gesundheitliche Auswirkungen

**Mykosen** sind entzündliche Erkrankungen verschiedener Organsysteme des Menschen die insbesondere bei immungeschwächten Personen auftreten können (z.B. exogen-allergische Alveolitis).

### Geruch

Muffig-modriger Geruch in Innenräumen wird als unangenehm und störend empfunden. Unspezifische Reaktionen (Verstimmungen, Übelkeit, Schleimhautreizungen) sind daher nicht auszuschließen.

### Allergie

Bei prädisponierten Personen ist die Entwicklung von Allergien begünstigt. Bei bestehenden Allergien (insbesondere bei Atemwegsallergien) können zusätzliche Beschwerden hervorgerufen werden, da durch die Sporenbelastung der Luft Entzündungsprozesse ausgelöst werden können. Aus raumlufthygienischer Sicht ist es daher von besonderem Interesse, die Innenräume frei von Schimmelbefall zu halten und gegebenenfalls Sanierungsschritte einzuleiten.

## 3 Methoden und Durchführung

Im Zuge der Untersuchungen wurden jene Gebäude- und Innenraumfaktoren an oberösterreichischen Schulen erhoben, die die Innenraumsituation maßgeblich bestimmen:

- Radon
- Schimmel
- Formaldehyd
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- Pentachlorphenol, Lindan

- Polychlorierte Biphenyle
- Kohlenstoffdioxid, Luftwechsel
- Geruchsbelästigungen
- Zugluft, Gebäudeundichtheiten
- Akustik, Lärm

Zur Erhebung der Basisdaten wurde ein Fragebogen erstellt. Dieser wurde Anfang Oktober 2001 an alle Pflicht-, Berufsschulen und landwirtschaftliche Fachschulen Oberösterreichs mit dem Ersuchen um Beteiligung an der Studie versandt. Nach Sichtung und Bewertung der Rückantworten im Dezember 2001 wurden nach Durchführung von Plausibilitätstests, unsichere Daten vor Ort oder telefonisch überprüft, teilweise nacherhoben und korrigiert.

Anfang 2002 wurden Radondetektoren an Schulen mit erdgebundenen Unterrichtsräumen in Radonrisikogebieten versandt. Gleichzeitig wurde mit der messtechnischen Erhebung

The background image shows a math worksheet with various subtraction problems and a number line. The problems include:

- $34 - 3 = 31$ ,  $34 - 4 = 30$ ,  $34 - 5 = 29$ ,  $34 - 6 = 28$ ,  $34 - 7 = 27$
- $41 - 1 = 40$ ,  $41 - 2 = 39$ ,  $41 - 3 = 38$ ,  $41 - 4 = 37$ ,  $41 - 5 = 36$
- $43 - 7 = 36$ ,  $43 - 4 = 39$ ,  $43 - 3 = 40$ ,  $43 - 2 = 41$ ,  $43 - 1 = 42$
- $43 - 8 = 35$
- $22 - 5 = 17$ ,  $32 - 5 = 27$ ,  $52 - 5 = 47$ ,  $72 - 5 = 67$ ,  $92 - 5 = 87$
- $31 - 4 = 27$ ,  $51 - 4 = 47$ ,  $71 - 4 = 67$ ,  $81 - 4 = 77$
- $62 - 8 = 54$ ,  $35 - 7 = 28$ ,  $55 - 7 = 48$ ,  $55 - 9 = 46$
- $30 - 6 = 24$ ,  $40 - 6 = 34$ ,  $50 - 6 = 44$ ,  $60 - 6 = 54$
- $11 - 3 = 8$ ,  $15 - 3 = 12$

A number line is also visible, showing a range from 30 to 50 with arrows indicating subtraction.

der restlichen Innenraumparameter begonnen. Dabei wurde durch Anwendung wissenschaftlich fundierter Kriterien auf die eingetroffenen Antworten eine gezielte Auswahl an detailliert, weiter zu erhebenden Schulen getroffen. So konnte mit einem vertretbaren zeitlichen, organisatorischen und kostenmäßigen Aufwand das bestmögliche Ergebnis erzielt werden, da die generelle messtechnische Erfassung aller potenziellen Faktoren wirtschaftlich und zweckmäßig nicht durchführbar gewesen wäre. Soweit sich Verdachtsmomente aus den Fragebogenantworten ergaben, wurden an derart ausgewählten Schulen im Zeitraum Jänner 2002 bis Jänner 2003 die betroffenen Faktoren und Parameter entweder durch weitere detaillierte Vor-Ort-Erhebungen durch Fachleute und/oder durch weitere Spezialmessungen objektiviert und so weit möglich quantifiziert.

Die Ergebnisse dieser Erhebung wurden mit aktuellen wissenschaftlich-technischen und raumhygienischen Maßstäben bewertet. Darauf aufbauend werden bestehende Mängel aufgezeigt und Lösungsmöglichkeiten sowie deren Umsetzungsmöglichkeiten durch die zuständigen Stellen angeregt. Für zukünftige Schulneubauten wird eine genereller Empfehlungskatalog zur Sicherung der Innenraumqualität zusammengestellt.



## Ergebnisse

### 4.1 Fragebogenerhebung

Im August 2001 wurde der Fragebogen des Kindergartenprojektes überarbeitet und im Word-Format neu gestaltet. Die Fragebögen wurden aus der Datenbank vorausgefüllt und eindeutig mit der jeweiligen Schulkennzahl gekennzeichnet. Die Aussendung der Fragebögen erfolgte per E-Mail.

Alle Rückantworten wurden aus den zurückgesendeten E-Mails gefiltert und - nach einer Plausibilitätskontrolle - automatisch in die Datenbank übernommen.

Von den insgesamt 926 Pflicht-, Berufsschulen und landwirtschaftliche Fachschulen in Oberösterreich (Stand Herbst 2001), haben sich 803 am Projekt beteiligt. Für die weitere Auswertung wurden 793 Schulen herangezogen, da in den restlichen Schulen bereits eine

Generalsanierung, Neubau, etc. durchgeführt wurde oder unmittelbar bevorstand. Die Verteilung der Schultypen unter den an der Studie beteiligten Schulen ist in Abb. 1 dargestellt.

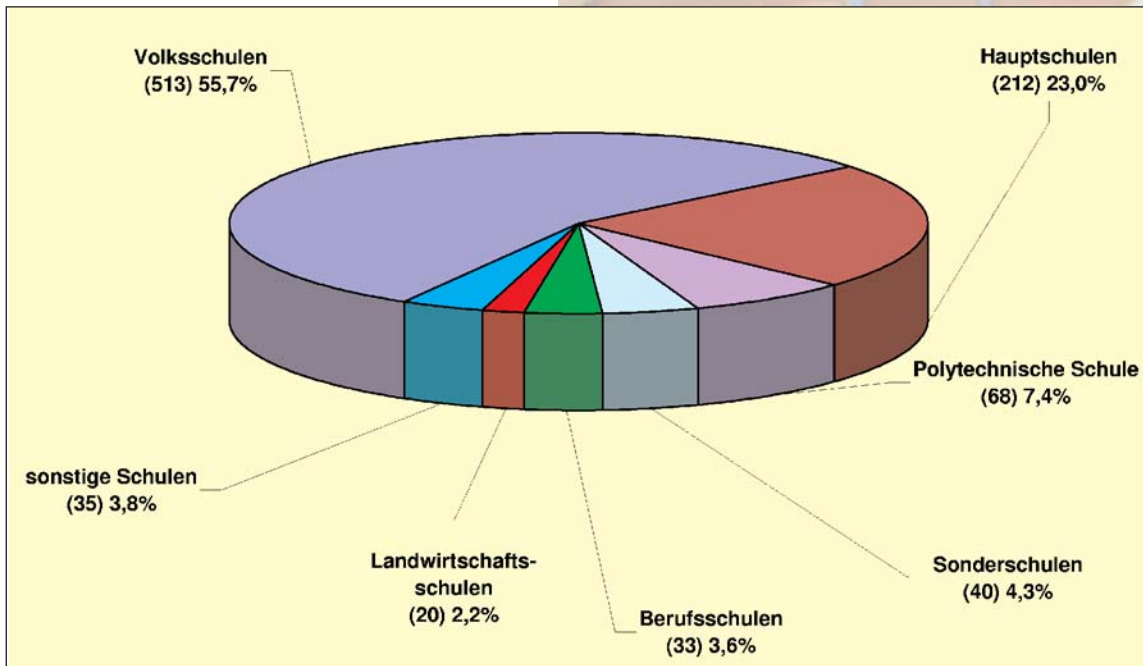


Abb. 1: Verteilung der Schultypen der beteiligten Schulen (Mehrfachnennungen möglich)

Nach Erfassung sämtlicher Fragebogenantworten in der Datenbank, deren Sichtung, Überprüfung, Verknüpfung und Bewertung wurden an Schulen, bei denen die Daten Verdachtsmomente auf erhöhte Belastungsfaktoren ergaben, im Jahr 2002 Erhebungen vor Ort (Schimmelbefall), messtechnische Bestimmungen (Radonkonzentration, Gebäudedichtheit, Innenraumlufschadstoffe, Akustik, Lärm) durchgeführt.

## 4.2 Allgemeine Gebäude- und Nutzungsdaten

Der Fragebogen gliederte sich in folgende 8 Teile:

- Allgemeine Daten über die Schule
- Gebäudedaten
- Angaben zu den Räumen
- Heizung und Raumtemperatur
- Ausstattung der Unterrichtsräume
- Angaben zum Wohlbefinden/Raumklima/Feuchtigkeit
- Angaben zur Akustik und Lärm
- Ergänzende Bemerkungen

Im Teil Gebäudedaten des Fragebogens wurde das Baujahr, das Sanierungsjahr und das Jahr des letzten Zubaus erfragt. Weitere Fragen bezogen sich auf die Bauweise der Schule (Mauerwerk, Bodenaufbau, Bauweise der obersten Geschoßdecke, Anzahl der Räume etc.).

Die Abb. 2 zeigt einerseits einen geschichtlichen Verlauf der in Oberösterreich errichteten Schulen, andererseits ist die Anzahl der davon bereits sanierten Schulen dargestellt,

d.h. z.B. zwischen 1950 und 1960 wurden 112 Schulen errichtet und davon sind 62 Schulen bereits generalsaniert. Aus dieser Abbildung kann das Sanierungsjahr nicht herausgelesen werden.

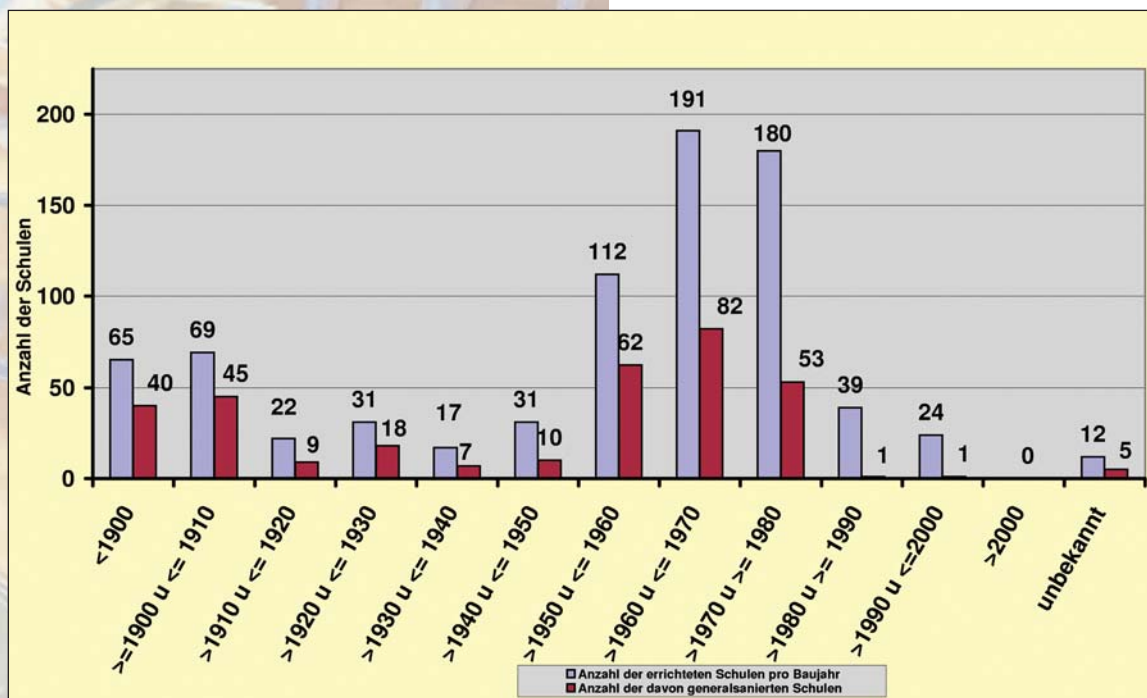


Abb. 2: Anzahl errichteter Schulen pro Baujahr und davon bereits sanierte

Die meisten Schulen wurden zwischen 1990 und 2000 generalsaniert (Abb. 3).

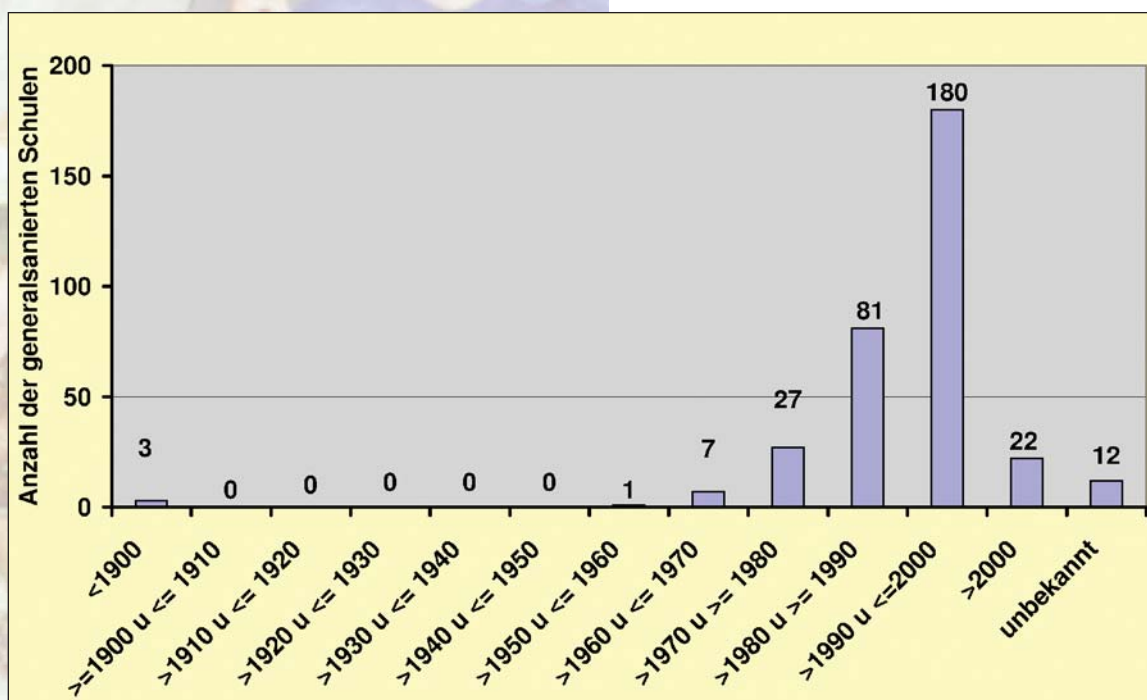


Abb. 3: Jahr der Generalsanierung

In Teil Raumdaten des Fragebogens wurde die Anzahl der jeweiligen Raumtypen (Klassenzimmer, Sonderunterrichtsräume, Turnsäle), die Lage (Geschoß) im Gebäude sowie die Unterkellerung erhoben. Diese Fragestellung ist von besonderer Bedeutung, da die Nicht-Unterkellerung der Unterrichtsräume eines der Auswahlkriterien für die Radonmessungen war.

Im Fragebogenteil Heizung und Raumklima wurde die Art der Heizung, die Art des Brennstoffes (Abb. 4), die Art der Fenster, die Art der Verglasung, das Einbaujahr der Fenster und die Dichtheit der Fenster erhoben. Weiters wurde abgefragt, ob es in der Schule eine Fußbodenheizung oder eine Lüftungstechnische Anlage gibt.

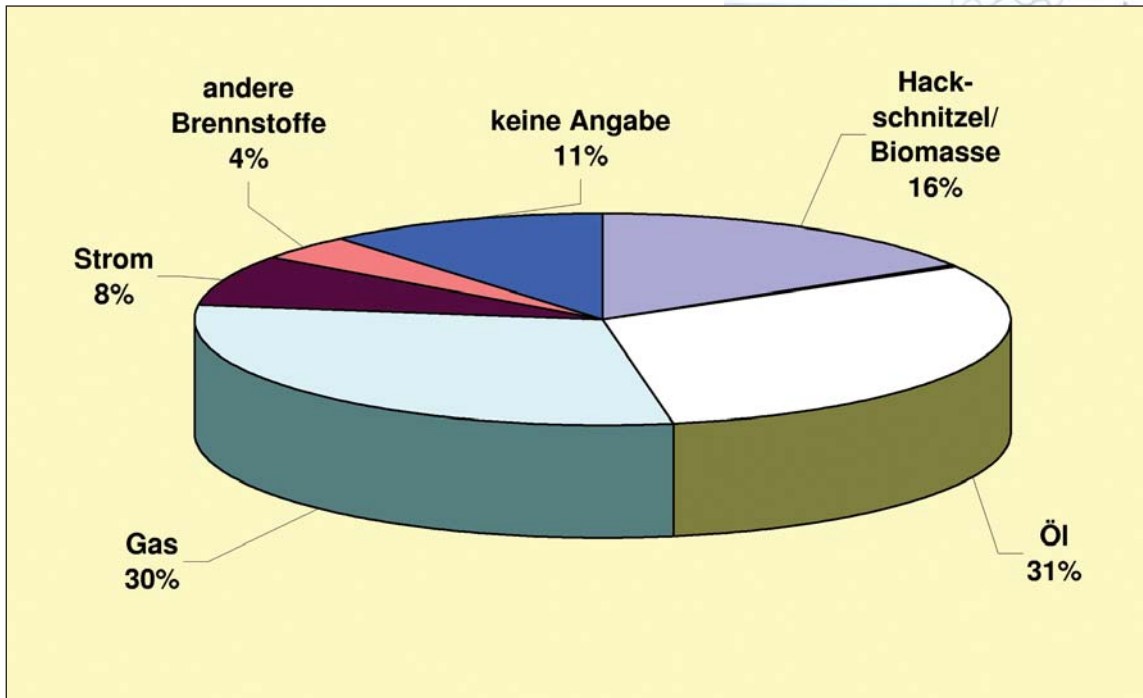


Abb. 4: Verwendete Brennstoffe für Heizung

### 4.3 Radon

Aufbauend auf den Erfahrungen der Radonerhebung in den öö. Kindergärten wurde eine messtechnische Teilerhebung der Radonsituation durchgeführt. Es wurden jene Schulen untersucht, die

1. über erdgebundene Klassenräume oder Sonderunterrichtsräume verfügen und
2. in einem Radonrisikogebiet (Gemeinde) oder einer Nachbargemeinde eines Radonrisikogebiets entsprechend der öö. Radonrisikokarte liegen. Dabei wurde die Stadt Linz ausgenommen, da hier das Radonrisiko wegen der spezifischen städtebaulichen Situation gering ist.

Von den 608 an der Untersuchung teilnehmenden Schulen mit erdgebundenen Klassenzimmern oder Sonderunterrichtsräumen liegen 163 Schulen in Gemeinden, die als Radonrisikogebiet ausgewiesen sind und 175 Schulen in Nachbargemeinden von Radonrisikogebieten (ohne Linz). Das sind insgesamt **338 Schulen** (Tabelle 1), in denen die Messung der Radonaktivitätskonzentration der Raumluft vorgesehen war.



Schulen:	Schulen:	Klassen erdgebunden	Klassen und Sonderunterrichtsräume erdgebunden:
ganz OÖ.	793	425	608
Radonrisikogebiet:	202	118	163
Nachbargemeinden vom Radonrisikogebiet:	272	134	199
Nachbargemeinden vom Radonrisikogebiet ohne Linz:	228	122	175

Tabelle 1: Auswahlkriterien für Radonmessungen in den teilnehmenden Schulen

Zusätzlich wurde noch eine Kontrollgruppe von 30 Schulen mit erdgebundenen Klassenzimmern oder Sonderunterrichtsräumen außerhalb von Radonrisiko- und Nachbargemeinden untersucht, um die Plausibilität der Auswahl für die Teilerhebung zu überprüfen.

Für die Radonbestimmung wurden Langzeitmessungen mit Messperioden von rund drei bis fünf Monaten gewählt. Mit der Wahl der Messperioden wurde die saisonale Ausgewogenheit (Winter / Sommer) sichergestellt.

In 344 der insgesamt 368 ausgewählten Schulen konnte die Radonkonzentration tatsächlich bestimmt werden. 24 Detektoren konnten entweder aus technischen Gründen nicht ausgewertet werden oder gingen auf dem Postweg oder in den Schulen selbst verloren.

In den Abb. 5 und 6 sind die Ergebnisse der Radonmessungen in Form von Summenhäufigkeitsverteilungen in logarithmischer Normalverteilungsskalierung dargestellt.

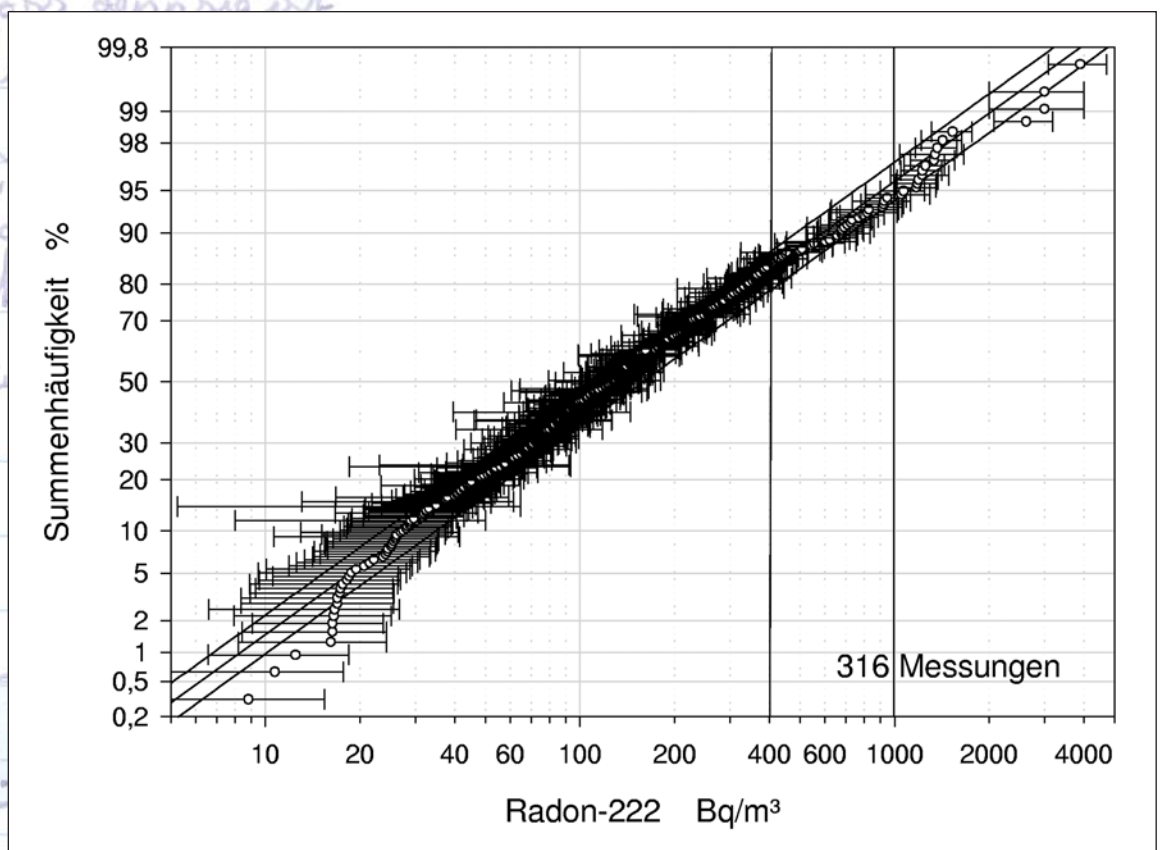


Abb. 5: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungsskala; Messpunkte mit Messunsicherheitsbalken) der Radonmesswerte in den erdgebundenen Räumen der untersuchten Schulen in den Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden der Radonrisikogebiete; Messzeitraum Jän. bis Mai, Sept. bis Dez. 2002

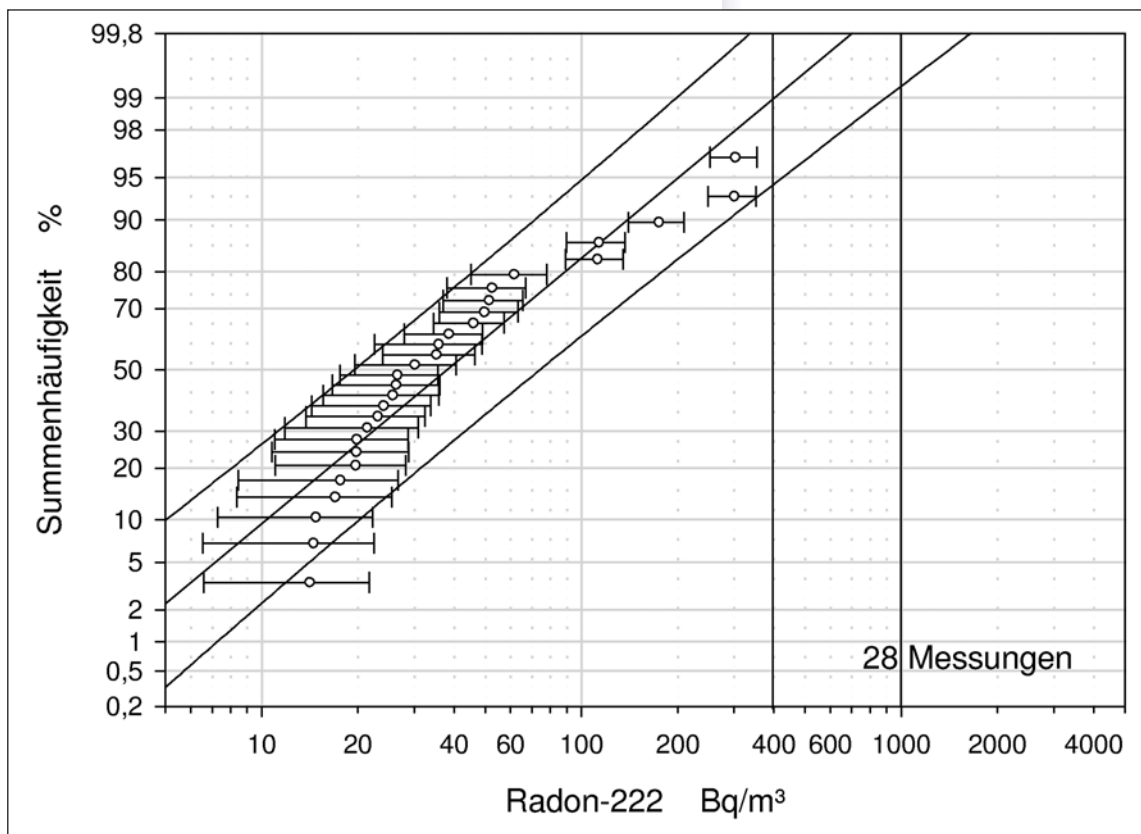


Abb. 6: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungs-Skala; mit Messunsicherheitsbalken) der Radonmesswerte in den erdgebundenen Unterrichtsräumen der untersuchten Kontrollgruppe außerhalb der Radonrisikogebiete bzw. Nachbargemeinden; Sept.- Dez. 2002

In 44 Schulen wurden zusätzlich zu den kontinuierlichen Langzeitmessungen zeitgesteuerte Radondetektoren verwendet, um die Radonkonzentration ausschließlich während der Schulbetriebszeiten zu bestimmen. Im Mittel waren die gemessenen Radonkonzentrationen in diesen 44 Schulen während der Schulzeiten um 27 % höher als jene der kontinuierlichen Messungen. Allerdings ist die Streuung sehr groß, das Verhältnis Radonkonzentration Schulzeiten/kontinuierlich reicht von 0,59 bis 2,72.

Da in Österreich bisher noch kein gesetzlicher Grenzwert für Radon in Innenräumen eingeführt wurde, dient als Grundlage für die strahlenschutzbezogene Bewertung der Radonmessergebnisse die Empfehlung der Österreichischen Strahlenschutzkommission für die Begrenzung der Radonexposition in Innenräumen aus dem Jahr 1993, die auf einer entsprechenden EU-Empfehlung aus dem Jahr 1990 beruht. Der Richtwert für die Obergrenze des Jahresdurchschnitts der Rn-222-Aktivitätskonzentration in Innenräumen wird in dieser Empfehlung mit 400 Bq/m<sup>3</sup> für bestehende Gebäude angegeben. Als weitere strahlenschutzrelevante Grundlage wurde der Grenzwert der Schweizer Strahlenschutzverordnung für Radon mit 1000 Bq/m<sup>3</sup> Rn-222-Aktivitätskonzentration im Jahresdurchschnitt berücksichtigt.

Im Zuge der durchgeführten Radonmessungen wurden in insgesamt 64 (das sind 20,3 % von 316) Schulen in Radonrisikogebieten und benachbarten Gemeinden Radon-222-Beurteilungswerte über 400 Bq/m<sup>3</sup> ermittelt, davon wiederum in 23 Schulen Beurteilungswerte über 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Bei der Kontrollgruppe außerhalb der Radonrisikogebiete und benachbarten Gemeinden wurde kein Radon-222-Beurteilungswert über 400 Bq/m<sup>3</sup> gefunden.

## 4.4 Chemische Innenraumluftschadstoffe

### 4.4.1 Formaldehyd und weitere Aldehyde

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurde in 14 Objekten in je einem Raum die Raumluft auf Aldehyde untersucht. Die Palette der Aldehyde umfasste auch die Substanz Formaldehyd, die unter den untersuchten Aldehyden die höchste toxikologische Relevanz für den Menschen besitzt.

Es wurden Schulen ausgewählt, deren Baujahr zwischen 1965 und 1985 liegt und in denen laut Fragebogen in mindestens drei Räumen Spanplatten vorhanden sind. Dieser Zeitraum wurde deshalb gewählt, da ab etwa 1965 verstärkt Möbel aus Spanplatten gefertigt wurden, die in dieser Zeit häufig ein hohes Formaldehyd-Abgabepotential hatten. Ab Anfang der 1980-er Jahre wurden zunehmend formaldehydarme Werkstoffe eingesetzt. Ein weiteres Auswahlkriterium waren die Angaben "dichte und sehr dichte Fenster".

In 4 von 14 untersuchten Räumen lag der Messwert für Formaldehyd in der Raumluft über dem WHO-Richtwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in 2 untersuchten Räumen über dem Richtwert der Österreichischen Produktsicherheitskommission von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alle anderen Beurteilungswerte unterschritten diese Werte. In 6 Räumen wurde der Vorsorgewert von  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (level of no concern - WHO) unterschritten.

Der auf  $23^\circ\text{C}$ , 45 % rel. Luftfeuchte umgerechnete Messwert für Formaldehyd in der Raumluft, der jedoch nicht für alle Messstellen eine sinnvolle Aussage liefert, überschritt in einem der 14 untersuchten Räume den WHO-Richtwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abb. 7). Der Grund hierfür lag vermutlich bei den kurz vor der Messung gelieferten Möbeln aus Spanplatten. Bei der Nachmessung in diesem Raum etwa ein halbes Jahr nach dem ersten Messtermin wurden wesentlich niedrigere Messwerte ermittelt.

Die Konzentration der anderen untersuchten Aldehyde lag in allen untersuchten Räumen im durchschnittlichen Bereich.

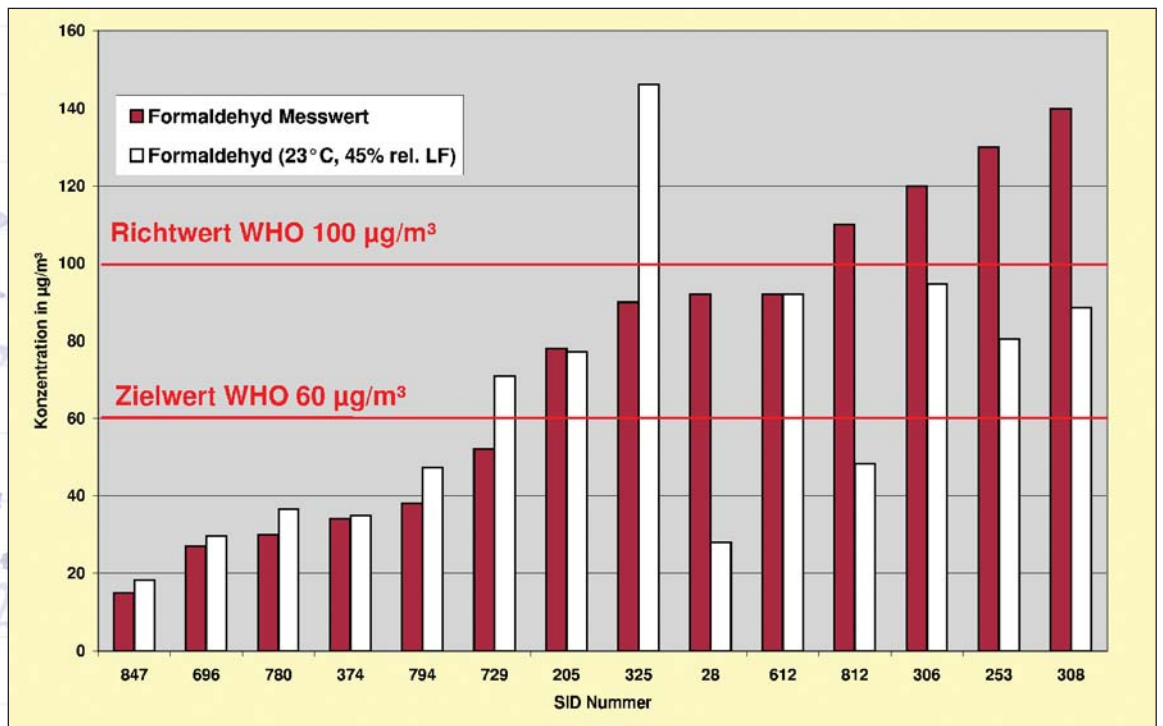


Abb. 7: Messwerte und berechnete Werte Formaldehyd - Raumluft

#### 4.4.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurden in insgesamt 49 dauernd benutzten Räumen, in mehreren Nebenräumen sowie in der Außenluft die Luft auf VOC untersucht. Es wurden einerseits Schulen ausgewählt, in denen es vor kurzem Bau- oder Sanierungstätigkeiten gab, andererseits solche, bei denen Geruchsprobleme auftraten, die auf VOC hinweisen könnten. Ein weiteres Auswahlkriterium waren die Angaben "dichte und sehr dichte Fenster". Als Vergleich wurde eine Schule ohne Probleme ausgewählt.

In der Raumluft der untersuchten Räume wurden für Innenräume typische Substanzen nachgewiesen. In einigen der untersuchten Räume ergaben sich deutliche Hinweise auf im Innenraum liegende Quellen von VOC. Bei allen Objekten, in denen auch die Außenluft untersucht wurde, ergaben sich deutlich höhere Messwerte in der Innenraumluft im Vergleich mit der Außenluft.

In keinem der untersuchten Räume wurden die Substanzen Tetrachlorethen und Styrol, für die in Österreich Richtwerte existieren, in relevanten Konzentrationen nachgewiesen.

In 11 der 49 untersuchten Räume zeigten sich Gesamtkonzentrationen an VOC, die als deutlich erhöht zu bezeichnen sind. In diesen Räumen wurde der Wert überschritten, der in dauernd benutzten Räumen laut Vorgaben des deutschen Umweltbundesamtes nicht überschritten werden sollte.

Die Gesamt VOC-Konzentration von 11 der untersuchten Räume lag im hygienischen Vorsorgebereich (Abb. 8).

In einigen dieser Objekte konnten die erhöhten Werte entweder auf Bodenversiegelungs-, Sanierungsarbeiten oder die Neuverlegung des Bodenbelages zurückgeführt werden. Mit einer Ausnahme konnte bei den Nachmessungen eine deutliche Abnahme der Konzentrationen an VOC festgestellt werden.

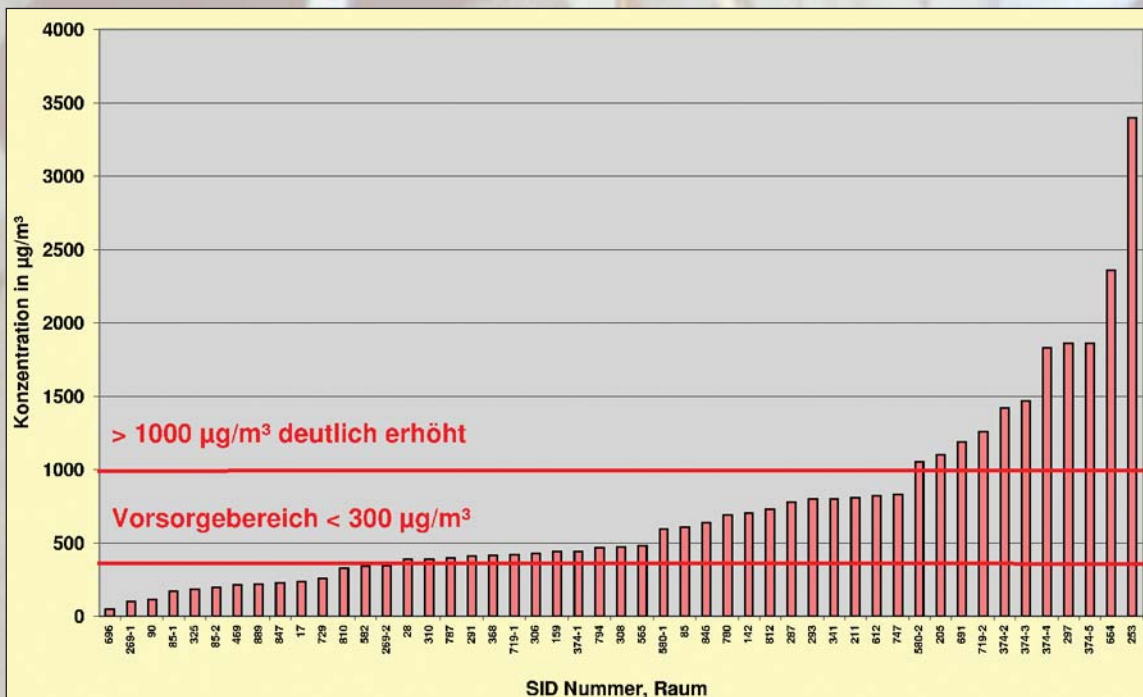


Abb. 8: Beurteilungswerte Gesamtsumme VOC - Raumluft

#### 4.4.3 Pentachlorphenol (PCP), Lindan

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurde in 8 Räumen die Raumluft auf Pentachlorphenol und Lindan untersucht. In zwei Räumen erfolgten Nachmessungen. Auswahlkriterien für die Objekte waren Baujahre bis 1985 und das Vorhandensein von größeren behandelten Holzflächen. Dieser Zeitraum wurde deshalb gewählt, da Holzschutzmittel noch bis etwa 1985 vereinzelt PCP enthielten.

In 2 von 8 untersuchten Räumen lag die Raumluftkonzentration an PCP in einem Klassenraum in einem deutlich erhöhten Bereich (Abb. 9). In einer dieser Schulen konnte der erhöhte Wert bei einer Nachmessung nicht bestätigt werden.

Als Quelle der erhöhten Belastung mit PCP in den Schulen mit den höchsten Messwerten konnten mittels Materialuntersuchungen großflächige, beschichtete Holzverkleidungen identifiziert werden (Abb. 10). Die Messergebnisse zeigten auch, dass es durch die mit pentachlorphenolhaltigen Holzschutzmitteln behandelten Flächen zu einer deutlichen Kontamination der Raumluft kam.

Die Konzentration an Lindan lag in allen Objekten in einem unauffälligen Bereich, deutlich unter dem Wert von  $100 \text{ ng/m}^3$ .

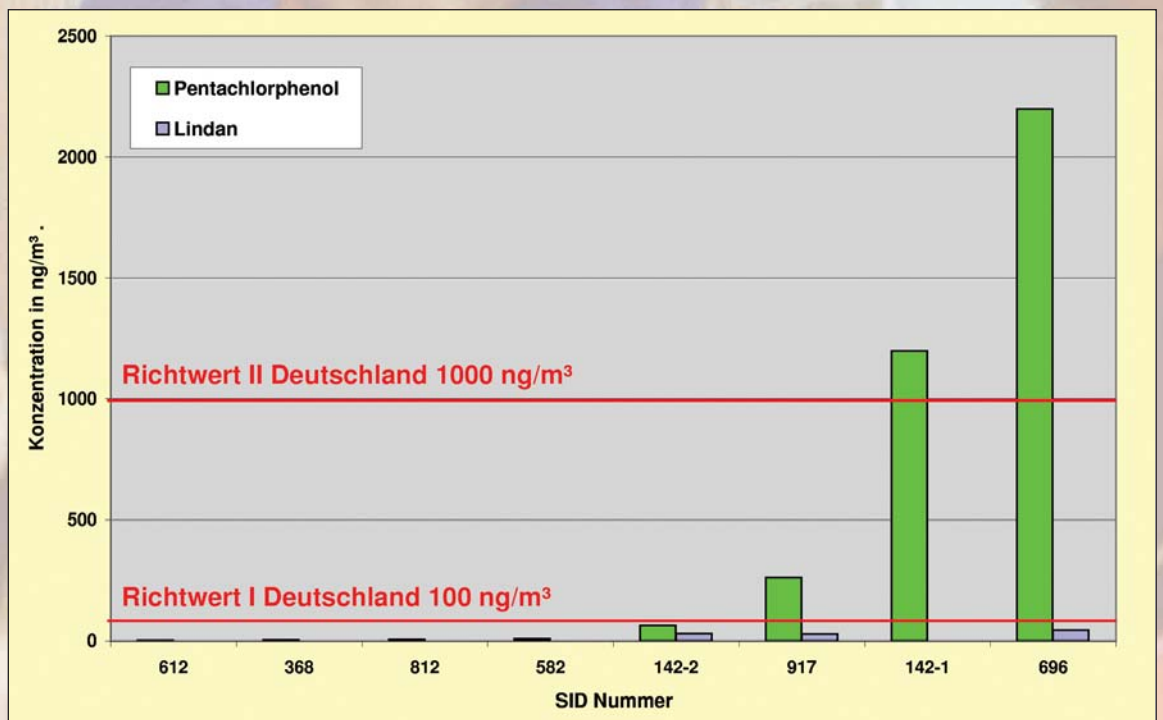


Abb. 9: Beurteilungswerte für PCP - Raumluft



Abb. 10: Holzdecke mit hohen PCP-Konzentrationen in einer Schulklasse

#### 4.4.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurden in 12 Objekten in je einem Raum die Raumluft auf polychlorierte Biphenyle (PCB) untersucht. Auswahlkriterien für die Objekte waren Baujahre im Zeitraum 1955 - 1983 und Fertigteilbauweise. Dieser Zeitraum wurde deshalb gewählt, da Fugenmassen für Betonfertigteilelemente etwa ab 1955 PCB enthielten. Ab den frühen 1980-er Jahren wurden PCB im Baubereich praktisch nicht mehr eingesetzt.

Die Konzentration an polychlorierten Biphenylen (PCB) lag in allen untersuchten Objekten im Bereich unter  $150 \text{ ng/m}^3$ . Damit wurde in allen Fällen der Vorsorgerichtwert von  $300 \text{ ng/m}^3$  deutlich unterschritten.

#### 4.5 Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Raumklima

Ein Ziel dieser Teiluntersuchung war die Entwicklung eines  $\text{CO}_2$ -Rechenmodells für Schulklassen als Handlungsgrundlage für Nutzer und Planer. Um fundierte Daten für die Entwicklung eines derartigen Rechenmodells zu gewinnen, wurden zwei ausgewählte repräsentative Schulen jeweils im Sommer und im Winter untersucht. Es handelte sich um eine Volksschule, die mit moderneren Kunststofffenstern ausgestattet ist und eine Hauptschule mit alten Metallfenstern. In jeweils zwei Räumen pro Schule wurden im Zeitraum von Unterrichtsbeginn bis Unterrichtsende die Parameter Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), Temperatur und rel. Luftfeuchte bestimmt. Weiters erfolgten Messungen des Luftwechsels und des n50-Wertes.

## Ergebnisse der Untersuchungen

Im gegenständlichen Untersuchungszeitraum blieb sowohl Temperatur als auch Luftfeuchtigkeit im üblicherweise als behaglich empfundenen Bereich.

In allen untersuchten Schulräumen lag der gemessene Luftwechsel bei der Situation "geschlossene Fenster", die häufig im Winter bzw. an dicht befahrenen Straßen vorkommt, in einem sehr niedrigen Bereich (unter  $0,12 \text{ h}^{-1}$ ). Die berechneten personenbezogenen Frischluftvolumina lagen in beiden untersuchten Schulen unter den hygienisch notwendigen Gesamtmengen von  $15 \text{ m}^3$  pro Person und Stunde für bis 10-Jährige bzw.  $20 \text{ m}^3$  pro Person und Stunde für über 10-Jährige (Empfehlungen ÖISS), bezogen auf den Zeitraum Schulbeginn bis Schulschluss.

In allen untersuchten Räumen konnten nach kurzer Unterrichtszeit erhöhte Konzentrationen an Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) nachgewiesen werden, die innerhalb der Beobachtungszeit bei geschlossenen Fenstern weiter deutlich anstiegen (Abb. 11). Die für eine Aufrechterhaltung hygienischer Bedingungen notwendige Frischluftmenge wurde während der Unterrichtsstunden nicht zugeführt. Der Verlauf der Konzentrationen zeigte, dass bei höherer Belegung der Räume sogar bei ständig gekippten Fenstern ein weiterer Anstieg und damit eine Überschreitung des hygienisch empfohlenen Zielbereiches von maximal 1000 bis 1500 ppm  $\text{CO}_2$  gegeben war.

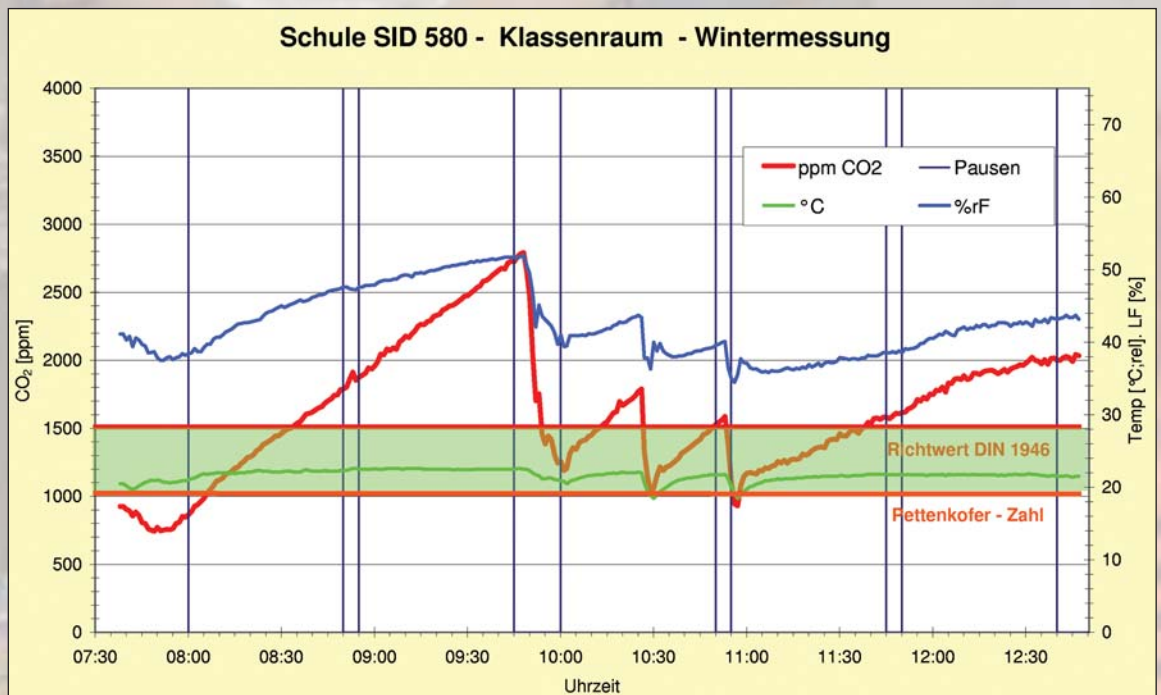


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der Raumklimaparameter einer typischen Schulklasse im Winter, Belegung 14 Kinder, 1-2 Erwachsene

Lüften, vor allem Querlüften in den Pausen führte zu einer starken Absenkung der Konzentration an  $\text{CO}_2$ . Der hygienisch erforderliche Zielbereich wurde damit erreicht, dies jedoch bei höherer Belegung der Räume nur kurzfristig. Querlüften mit vollständig geöffneten Fenstern und Türen stellt zwar die wirkungsvollste Lüftungsmethode dar, einmaliges Lüften in der Pause reichte jedoch nicht aus, den erforderlichen Luftwechsel sicherzustellen. In bestimmten Fällen ist in Klassenräumen das Querlüften nur unter Aufsicht möglich bzw. wegen der teils heftigen Zugerscheinungen unmöglich.

Aus den Messungen wurde klar ersichtlich, dass erst bei ständig gekippten Fenstern und geringer Klassenschülerzahl die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im hygienisch erforderlichen Zielbereich lagen. Diese Maßnahme ist jedoch auf Grund einer Reihe von Einschränkungen nur in der warmen Jahreszeit umsetzbar. Bei den Wintermessungen

waren bereits bei einem gekippten Fenster Zugscheinungen und ein starkes Absinken der Raumtemperatur zu beobachten. Im Winter wäre der Zustand mit 2 ständig gekippten Fenstern mit einem unzumutbar großen Wärmeverlust im Klassenraum und Zugscheinungen verbunden, eine Situation, die den Schülern nicht zugemutet werden kann. Auch ist nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Überlegungen das ständige Offenhalten von Fenstern in der Heizperiode keine sinnvolle Lösung.

Durch die zu geringe Frischluftvolumina ist vor allem in der kalten Jahreszeit, in der die Fenster nicht permanent geöffnet bleiben können, mit deutlichen Einbußen der Leistungsfähigkeit der Lehrer und Schüler zu rechnen. Befindlichkeitsstörungen wie trockene Schleimhäute etc. und damit auch erhöhte Risiken in Bezug auf Anfälligkeit gegenüber Infektionen sind unter derartigen Raumlufbedingungen nicht auszuschließen.

### Modellberechnungen und Rechenblatt

Neben den Messungen wurde aufbauend auf theoretischen Überlegungen ein Rechenblatt entwickelt, das als Grundlage für Lüftungsanweisungen in bestehenden Schulen bzw. für die Planung von zukünftigen Schulräumen dienen kann. Das Modell wurde anhand der ermittelten Praxisdaten mehrerer Klassenräume angepasst. Das CO<sub>2</sub>-Rechenmodell ist in der Lage, ausgehend von den Raumdimensionen und der Lüftungssituation für eine bestimmte Anzahl von Schülern und Lehrern eine Prognose für den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum abzugeben.

Mit Hilfe des Modells können für konkrete Klassenräume z.B. die maximale Klassenbelegung, der notwendige Luftraum oder das resultierende Zuluftvolumen pro Schüler bestimmt werden (Beispiel Abb. 12).

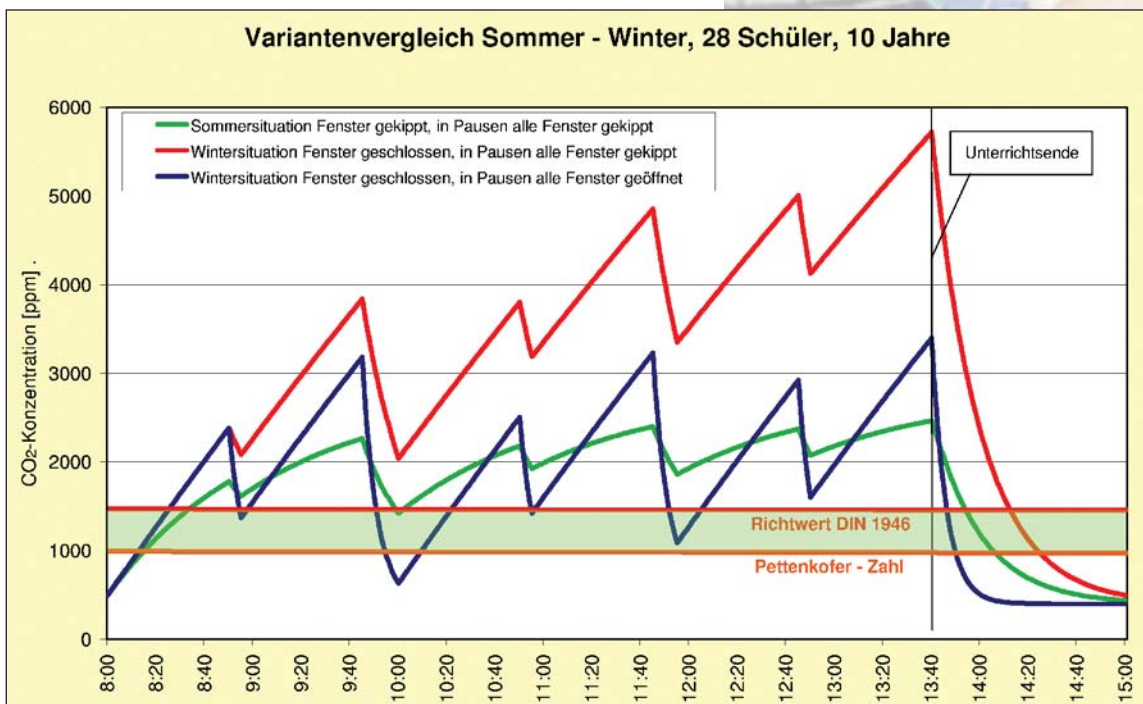


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration - Modellrechnung



## 4.6 Geruchsbelästigungen

In den Rückantworten zum Fragebogen gaben 34 Schulen erhebliche Geruchsbelästigungen, 89 Schulen geringfügige Geruchsbelästigungen, und 661 keine Geruchsbelästigungen an (Mehrfachnennungen waren möglich). 13 Schulen haben keine Angaben über die Geruchsbelästigungen gemacht (Abb. 13).

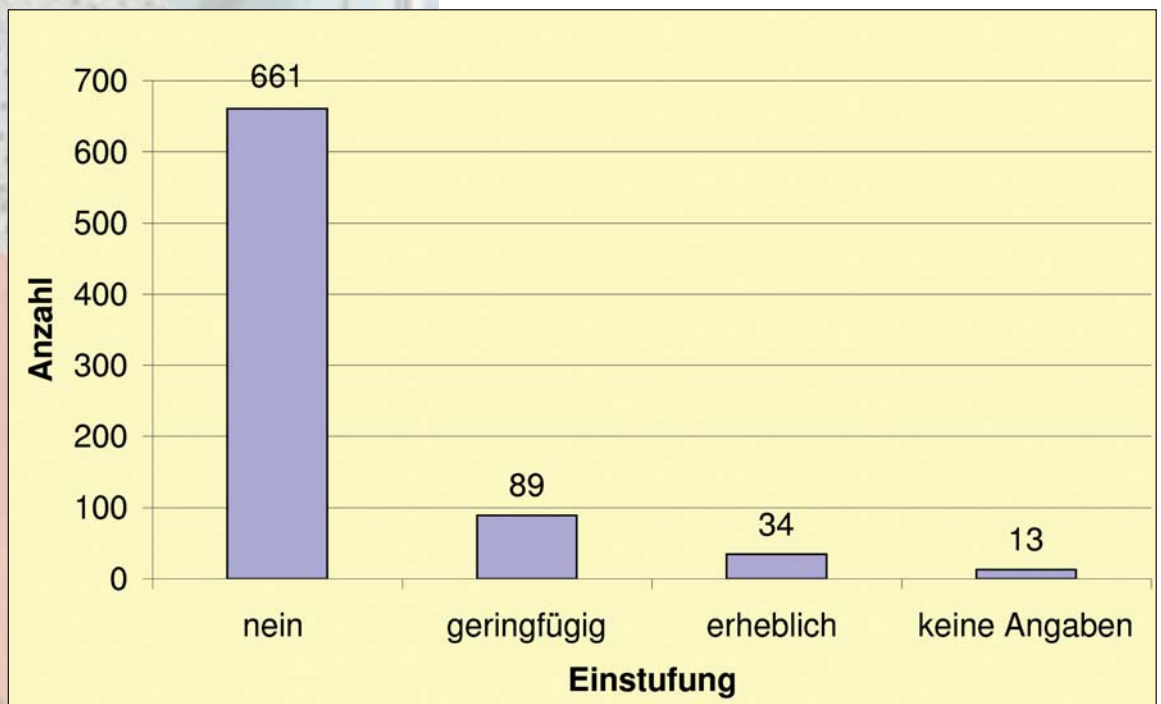


Abb. 13: Antworten im Fragebogen zur Geruchsbelästigung

Die Detailerhebungen ergaben, dass die Geruchsprobleme auf Feuchtigkeitsschäden durch Wassereintritte (undichtes Dach bzw. Dachentwässerung, aufsteigende Feuchtigkeit) zurückzuführen waren. In einigen dieser Schulen wurde die Sanierung bereits eingeleitet bzw. lässt sich die Geruchsbelästigung durch konsequentes Lüften eingrenzen.

Im Zuge von Innenraumluftmessungen wurde ein stechender Geruch in einem Turnsaal festgestellt, dieser war vermutlich auf die Turn- bzw. Gymnastikmatten (Geruch nach Schweiß) zurückzuführen. Eine Messung der Innenraumschadstoffe ergab, dass die Raumluft in einem für Innenräume typischen Bereich lag.

Im Fragebogen wurde auch abgefragt, ob es in der Schule Räume (z.B. Chemielabor, Physiklabor) gibt, in denen chemische oder physikalische Versuche durchgeführt werden. In 229 Schulen gab es zumindest einen dieser Räume. Weiters wurde gefragt, wo die Chemikalien für diese Versuche gelagert werden (offene Regale, Abzug, Chemikalienschrank oder anders; siehe Abb. 14).

Bei der Erhebung stellte sich heraus, dass die verwendeten Schränke zwar versperrbar, aber ohne entsprechender Abluftabsaugung ausgestattet sind. Die verwendeten Schränke befanden sich meist in einem Vorbereitungsraum, welches nur von den Lehrern betreten werden darf.

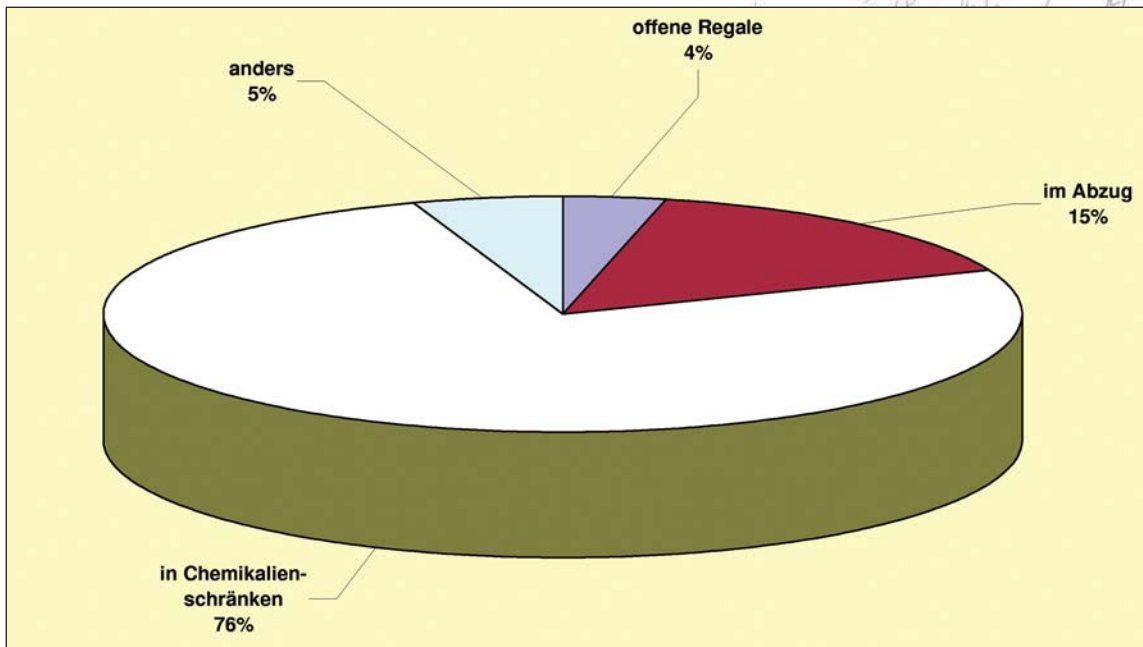


Abb. 14: Art der Chemikalienlagerung

## 4.7 Schimmelbildung

Im Zuge der Befragung gaben 54 Schulen erhebliche Schimmelbildung, 199 Schulen geringfügige Schimmelbildung und 529 Schulen keine Schimmelbildung an (Mehrfachnennungen möglich). 16 Schulen machten keine Angaben über die Schimmelbildung.

Auf Basis einer Prioritätenreihung erfolgte die Objektivierung der Angaben durch Vor-Ort-Begehungen bzw. zum Teil auch durch telefonische Kontaktaufnahme. Vor Ort wurde die Ursache der Schimmelbildung abgeklärt. Im Anschluss wurde durch das Projektteam eine Bewertung des auftretenden Schimmelbefalles in die Klassen "erheblicher Schimmelbefall", "geringfügiger Schimmelbefall" und "kein Schimmelbefall" vorgenommen.

In der Abb. 15 ist die Einstufung der Schimmelbildung im Fragebogen gegenüber der Einstufung durch das Projektteam dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, stimmt die Summe der subjektiven Einstufung der Schimmelbildung vom Fragebogen recht gut mit der Summe der Einstufung, die durch das Projektteam vorgenommen wurde, überein. Im Einzelfall ergaben sich jedoch Verschiebungen zwischen den Einstufungsklassen (z.B. nein auf erheblich).

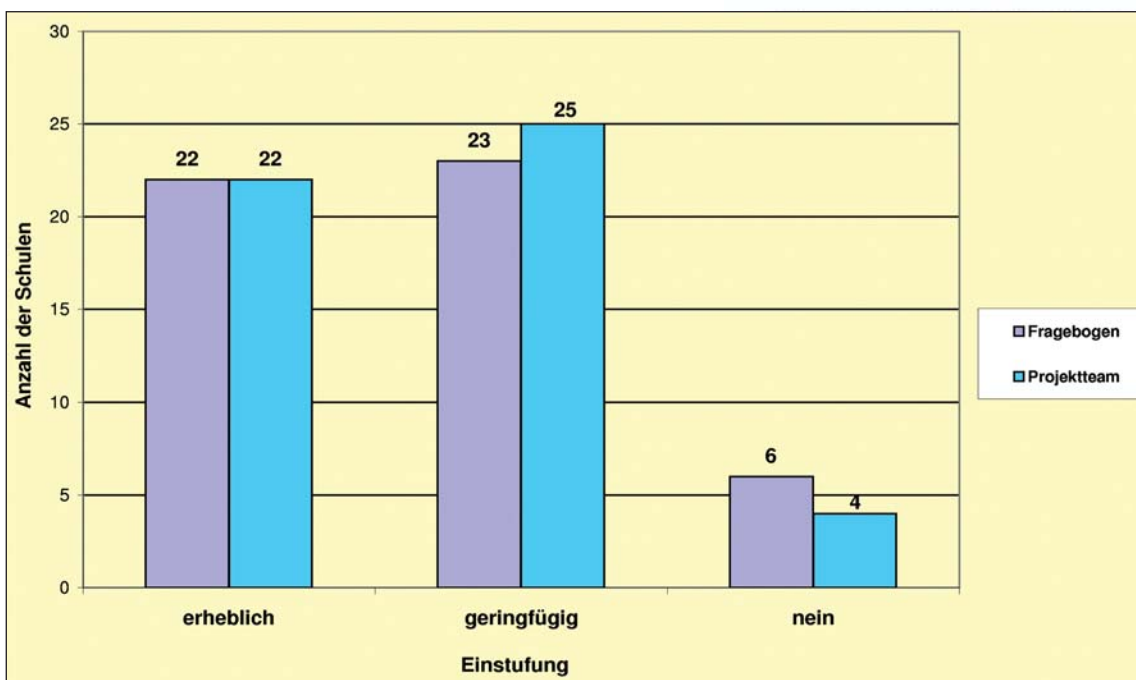


Abb. 15: Schimmelbildung Einstufungsvergleich

2) Konstruiere ein Quadrat

D

Die Ursachen der Schimmelbildung waren in den meisten Fällen aufsteigende Feuchtigkeit und Wärmebrücken bzw. mangelhafte Wärmedämmung (Abb. 16).

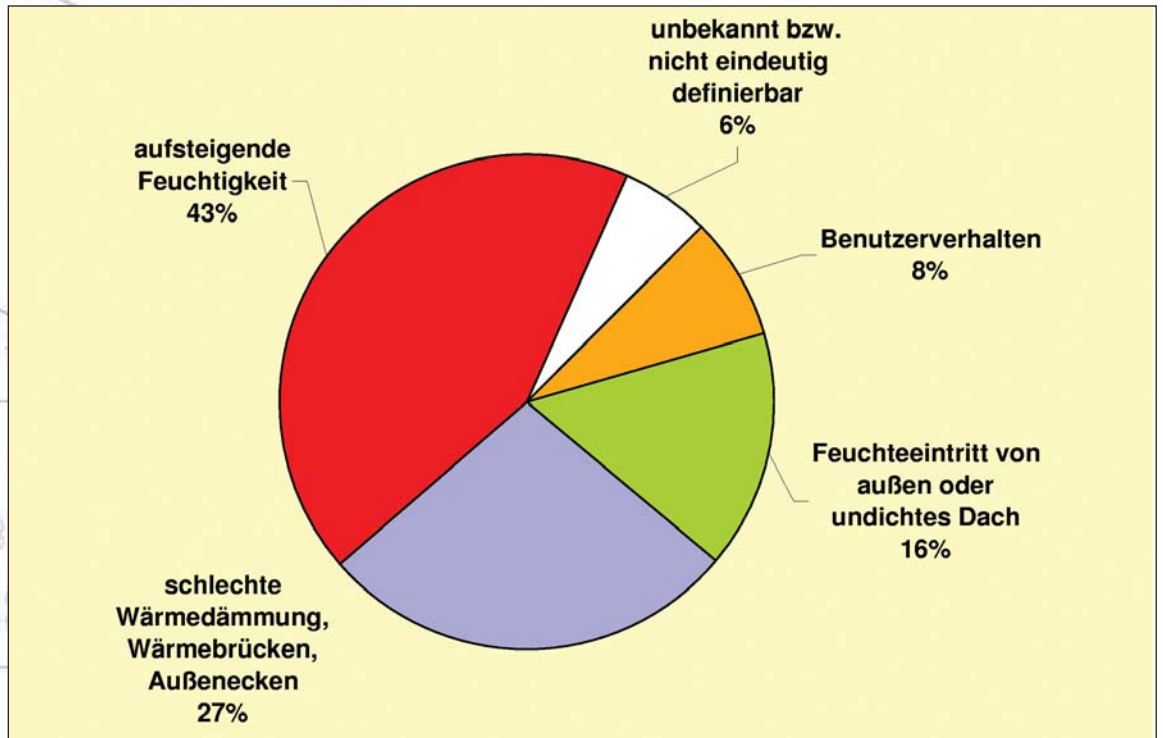


Abb. 16: Schimmelursachen

In den Abb. 17 und 18 sind bautechnisch bedingte Schwachstellen hinsichtlich Schimmelbildung exemplarisch dokumentiert.



Abb. 17: Salzausblühungen in Folge eindringender Feuchtigkeit vom Untergrund



Abb. 18: Schimmelbildung linkes Bild: im Fenstersturz; rechtes Bild: Raumecke, Wärmebrücke

In zwei Schulen wurde eine Raumluftuntersuchung auf Pilzsporen vorgenommen. In einer Schule wurde dies aufgrund eines während einer Innenraumluftmessung festgestellten

"feucht-muffigen" Geruches durchgeführt. Dabei konnte keine erhöhte Sporenkonzentration in der Raumluft festgestellt werden. Durch eine Messung der Materialfeuchtigkeit konnten erhöhte Feuchtigkeitsgehalte im Parkettboden festgestellt werden. Die Ursache dafür könnte eine mangelhafte Feuchtigkeitsisolierung des Untergrundes oder ein Wasserrohrbruch in diesem Bereich sein.

In der anderen Schule wurden die Mauern aufgrund der Hochwasserkatastrophe im August 2002 durchfeuchtet und eine Belastung der Raumluft durch Schimmelpilzsporen vermutet. Dabei konnte erhöhte Sporenkonzentration in der Raumluft festgestellt werden. Aus weiteren Messungen wurde ersichtlich, dass die Räume durch kontinuierliches Trocknen der Mauern mittels Heizen und Belüften sinkende Sporenkonzentrationen aufweisen.

#### 4.8 Zugluft und Gebäudedichtheit

Von den an der Befragung teilgenommenen 793 Schulen wurden bei 79 Objekten (563 Unterrichtsräume) "erhebliche Zugerscheinungen" und bei 128 Gebäuden "geringfügige Zugerscheinungen" angegeben.

Insgesamt wurden 23 Klassenräume messtechnisch untersucht, wobei folgende Auswahlkriterien herangezogen wurden:

- "erhebliche Zugerscheinungen und eine leichte oberste Geschößdecke",
- "erhebliche Zugerscheinungen und Fenster, die jünger als 20 Jahre sind"
- "geringfügige Zugerscheinungen und dicht oder sehr dicht schließende Fenster"

Weiters wurden zu Vergleichszwecken auch bei Klassen mit neuen Fenstern Luftdichtheitsmessungen vorgenommen, um Ergebnisse für mögliche Sollwerte zu erhalten.

Die durchgeführten Messungen (Luftwechsel,  $n_{50}$ -Wert) zeigen, dass in typischen Unterrichtsräumen in Schulen in Massivbauweise und bei dichten Fenstern Luftwechsel unter  $1 \text{ h}^{-1}$  erreichbar sind. Zieht man diesen  $n_{50}$ -Wert von  $1 \text{ h}^{-1}$  als Anforderung heran, wurde lediglich bei 2 der insgesamt 23 untersuchten Klassenräume, bei denen neue Fenster eingebaut waren, die erwünschte Luftdichtheit erreicht. Die Abb. 19 zeigt die Abhängigkeit des  $n_{50}$ -Wertes vom Einbaudatum der Fenster. Es ist erkennbar, dass Klassenzimmer mit neueren Fenstern in der Regel höhere Dichtheiten aufweisen.

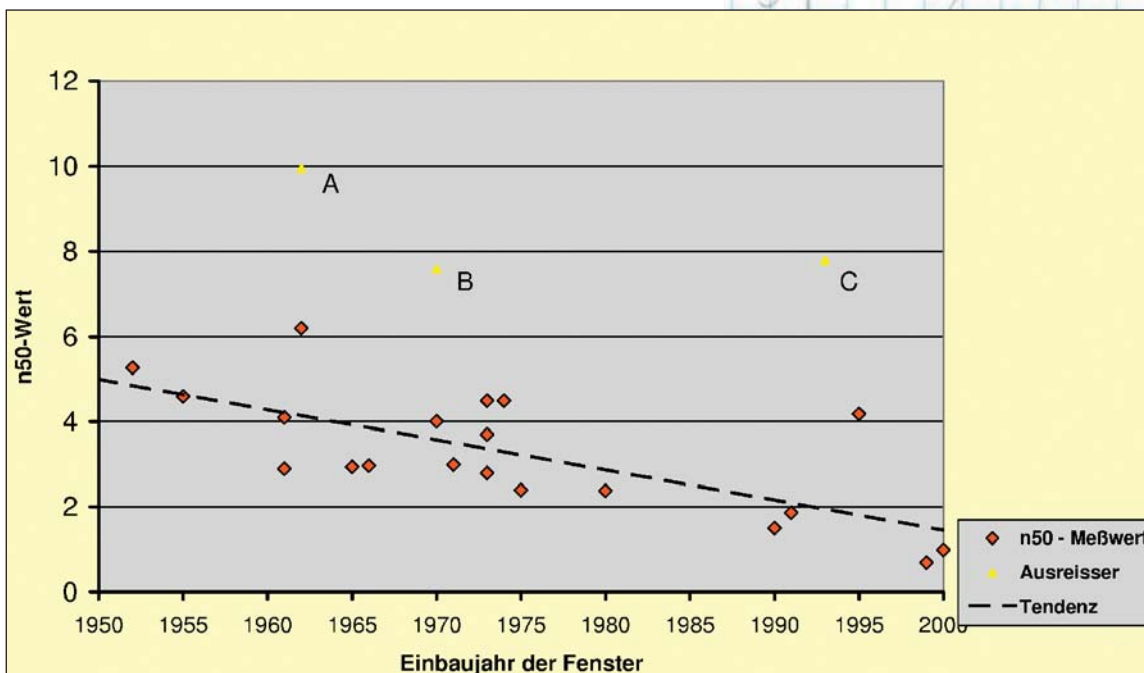


Abb. 19 Verbindung zwischen Messwert und Einbaujahr der Fenster

Das Thermogramm Abb. 20 zeigt eine Volks- und ein Hauptschule bei denen Luftdichtheitsmessungen im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden. Deutlich sichtbar ist die schlechtere Wärmedämmung der Fensterverglasungen. Auch im Bereich der Betonsäulen zwischen den Fenstern sind erhöhte Oberflächentemperaturen und somit thermische Schwachstellen erkennbar.

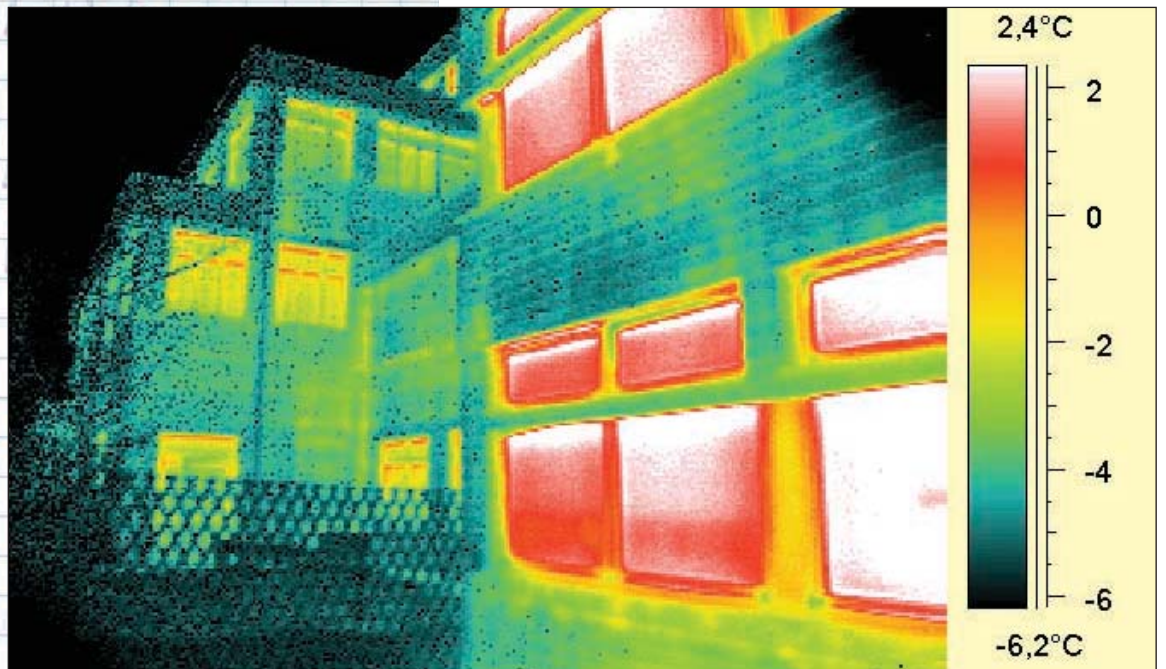


Abb. 20: Thermographische Aufnahme eines Schulgebäudes



Luftundichtheiten wirken sich besonders bei leichten Deckenkonstruktionen aus. Die Thermogramme Abb. 21 verdeutlichen Fugenundichtheiten in einer Volksschulaula mit Deckenkonstruktion in Leichtbauweise. Im oberen Bild wurde die Innenoberflächentemperatur unter normalen Luftdruckverhältnissen gemessen. Hierbei sind Schwachstellen in der Wärmedämmung erkennbar. Durch Anlegen eines Unterdruckes wird Außenluft über Undichtheiten angesaugt und somit die Innenoberfläche abgekühlt. Das untere Bild zeigt die Abkühlung der gesamten Deckenkonstruktion infolge der einströmenden kalten Luft. Auch bei normalen Druckverhältnissen steigt die warme Raumluft infolge der Thermik nahezu ungehindert durch die Undichtheiten nach außen. Hohe Wärmeverluste sind somit die Folge.

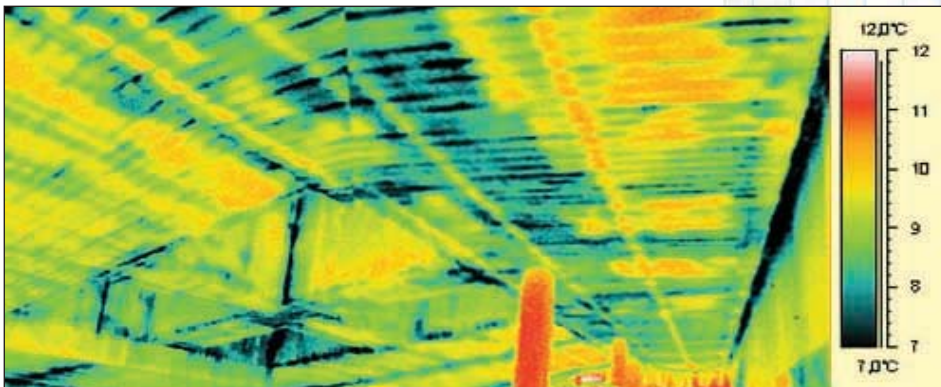
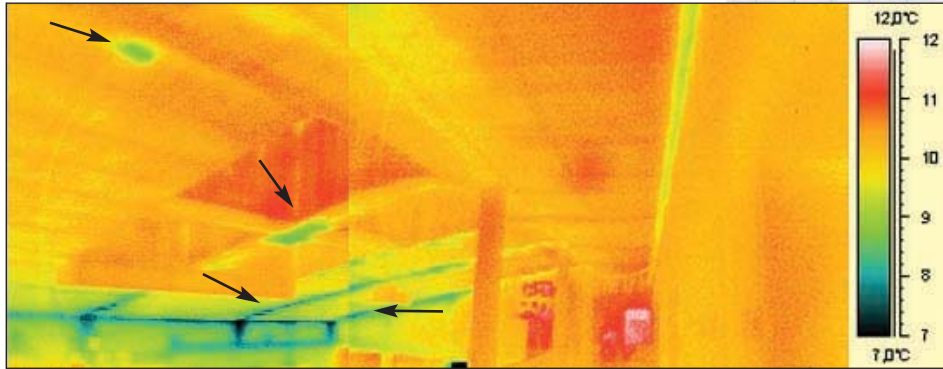


Abb. 21: Gegenüberstellung Innenthermogramme bei Dichtheitsmessung

## 4.9 Akustik

Im Fragebogen wurde unter der Rubrik "Akustik der Räume" zunächst eine subjektive Beurteilung der Raumakustik durch die Schulleitung vorgenommen. Die Raumakustik der Räume (Klassenzimmer, Turnsaal, Gänge/Foyer/Garderobe, Sonderunterrichtsräume) konnte mittels Fragebogen auf Sprachverständlichkeit, Lärmdämpfung, etc. mit den Noten sehr gut (1) bis sehr schlecht (5) beurteilt werden. Die subjektiven Bewertungen mussten nach Auswertung der Fragebögen einer Objektivierung unterzogen werden, insbesondere bei jenen Schulen, bei denen die Verbesserung der Akustik vordringlich erschien. Nach einer Prioritätenreihung und einer Objektauswahl wurden in 18 Schulen insgesamt 72 Akustikmessungen durchgeführt.

Die Messergebnisse brachten gegenüber den subjektiven Beurteilungen überraschende Erkenntnisse, da als "sehr gut" beurteilte Räume nicht immer optimale Nachhallzeiten aufwiesen. Die in allen gemessenen Raumkategorien herrschenden Nachhallzeiten waren unter Berücksichtigung der Absorption durch die Schüler in vielen Fällen geringfügig und in einigen Fällen deutlich über dem optimalen Nachhallzeitbereich (Abb. 22, Abb. 23).

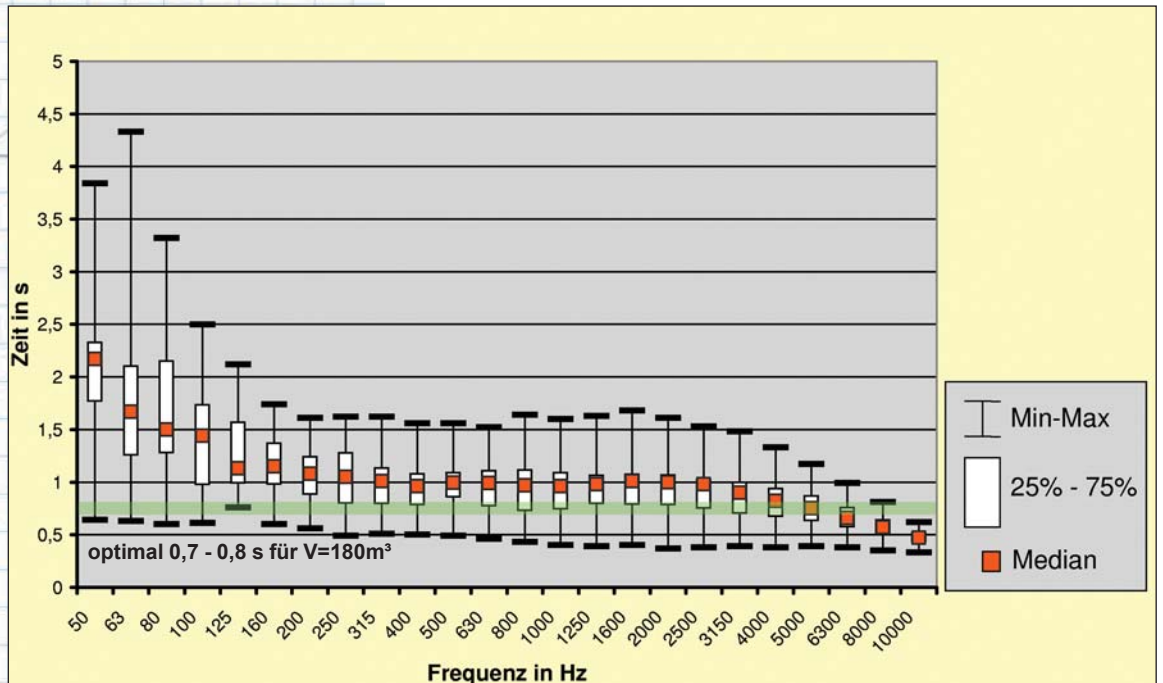


Abb. 22: Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen in den untersuchten Klassenzimmern

Eine optimale akustische Situation für nicht Hörgeschädigte liegt dann vor, wenn in Klassenräumen die Nachhallzeiten innerhalb eines Bereiches von  $T = 0,6 - 0,8$  s liegen. Über einer Nachhallzeit von  $T = 0,8$  s wird der Störgeräuschpegel so hoch und die Sprachverständlichkeit so schlecht, dass raumakustische Verbesserungen unumgänglich sind. Für hörgeschädigte Kinder gibt es in Österreich noch keine Anforderungen. Laut einer Deutschen Studie zufolge, empfiehlt sich für hörgeschädigte Schüler eine Nachhallzeit von etwa  $T = 0,45$  s.

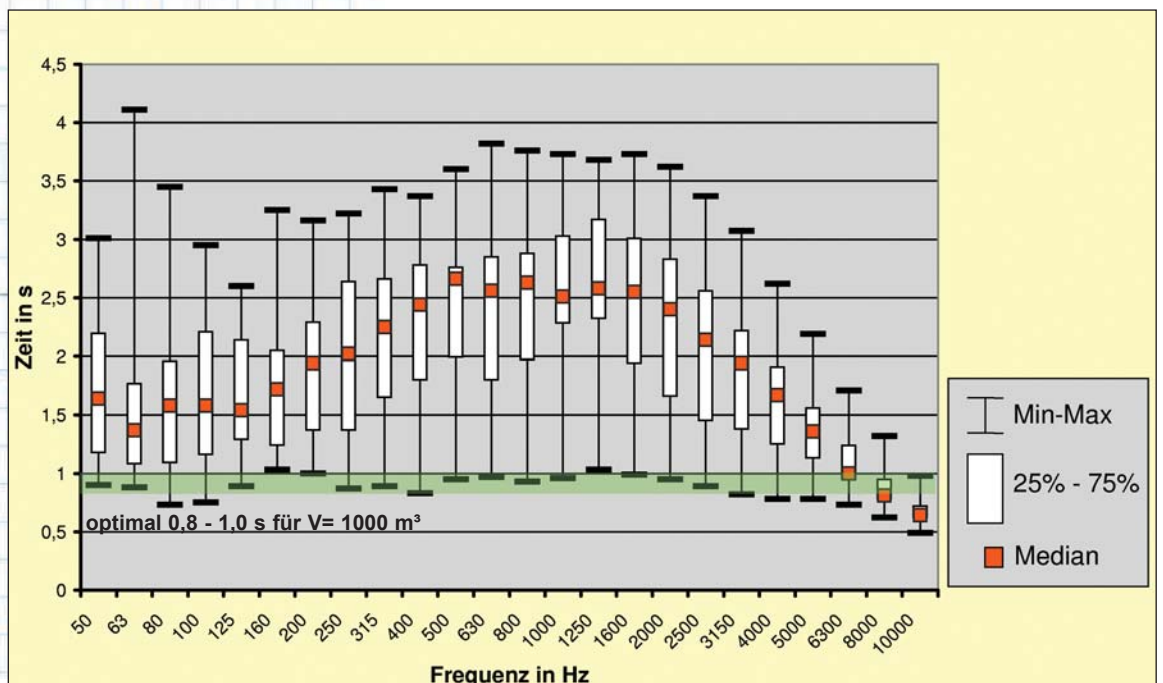


Abb. 23: Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen in den untersuchten Turnsälen

Wie in der Abb. 23 ersichtlich, sind die Nachhallzeiten in den Turnsälen vor allem im mittleren Frequenzbereich deutlich zu lang. Aus Gründen der Lärminderung sollte die Nachhallzeit in Turnsälen mit einem Raumvolumen von 1000 m<sup>3</sup> höchstens eine Nachhallzeit von T = 1,0 s betragen.

In den Foyers verhält sich die Nachhallzeit ähnlich wie in den Turnsälen, da die wenigsten Foyers raumakustische Ausstattungen aufweisen. Die gemessenen Nachhallzeiten in den Foyers sind fast generell über den gesamten Frequenzbereich zu lang (sehr hallend). Aus Lärminderungsgründen sollte auch in den Foyers, Garderoben, Gängen und Stiegenhäusern die Nachhallzeit T = 1,0 s nicht überschreiten.

### 4.10 Lärm

209 der beteiligten Schulen haben im Zuge der Fragebogenerhebung angegeben, dass sie durch Lärm beeinträchtigt sind. Überwiegend wurde als Lärmquelle Straßenverkehr angegeben, nämlich 158 Schulen. Als Lärmquelle Nr. 2 wurden benachbarte Räume angeführt.

Im Hinblick auf das hochrangige Straßennetz gibt es im Umkreis von 500 m um die 793 beteiligten Schulen, bei 599 Schulstandorten Straßen dieser Kategorien. Die Schallimmissionsberechnungen für die Bewertung dieser 599 Schulstandorte in Bezug auf das hochrangige Straßennetz zeigen die in Abb. 24 dargestellte Verteilung in den dB-Stufen.

Eventuell relevante Belastungen durch Gemeindestraßen sind auf Grund fehlender Verkehrsdaten für die Berechnung nicht berücksichtigt.

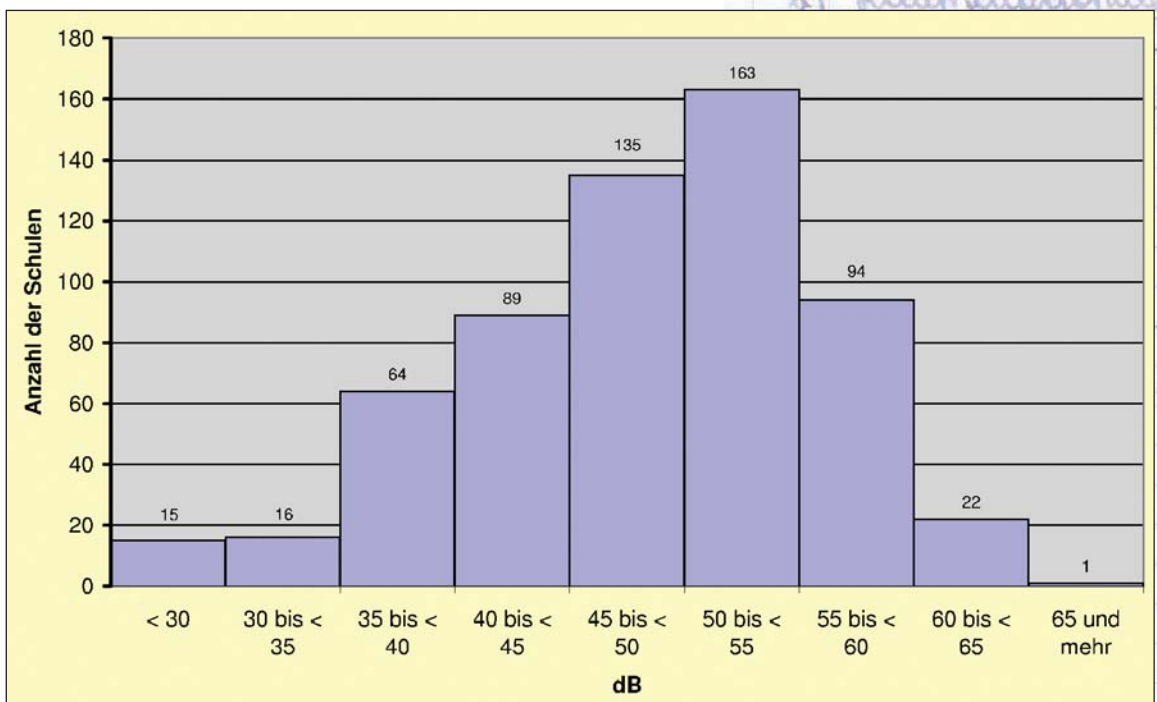


Abb. 24: Berechnung der Lärmbelastung der Schulen, die im Nahbereich des hochrangigen Straßennetzes liegen

Bei Immissionswerten über 60 dB muss der Schulstandort als stark, bei Werten unter 50 dB kann dieser als nicht belastet betrachtet werden.



## Luft- und Trittschalldämmung

5 Schulen wurden für Bauakustikmessungen ausgewählt. Da störende Geräusche auch aus benachbarten Klassenräumen, Foyers oder Werkräumen in den Klassenraum dringen können, wurde in jeder der ausgewählten Schulen die Luftschalldämmung zweier Klassentrennwände nebeneinanderliegend und einer Klassentrennwand mit Tür zum Gang ermittelt. Zur Beurteilung der Trittschalldämmung wurden jeweils die Trittschallübertragung zwischen zwei nebeneinanderliegenden Klassenzimmern und vom Gang in ein Klassenzimmer gemessen. Die ermittelten Messergebnisse für die Luftschalldämmung zwischen den Klassenzimmern entsprachen zwar nicht ganz der Mindestanforderung von  $D_{nT,w} = 55$  dB, lagen aber bis auf eine Ausnahme nur um 2-3 dB darunter.

Die Schalldämmung zwischen Klassenzimmern und Gang wird im Wesentlichen durch die Schalldämmung der Türe bzw. der Funktionsfuge bestimmt.

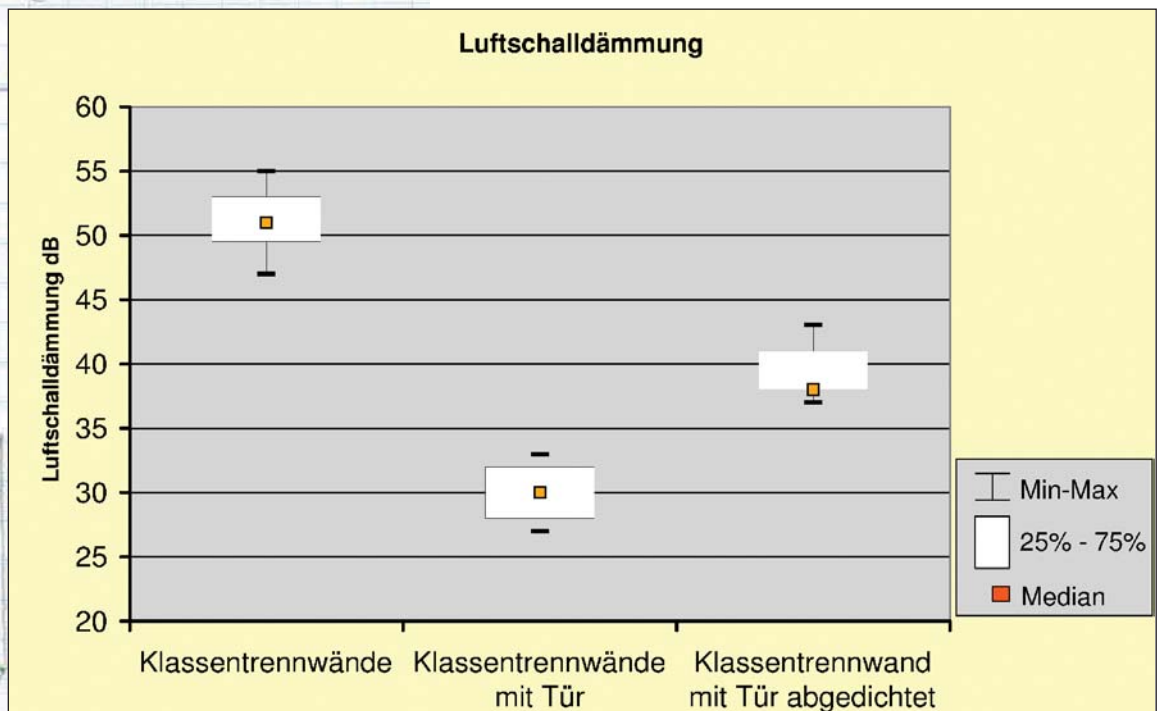
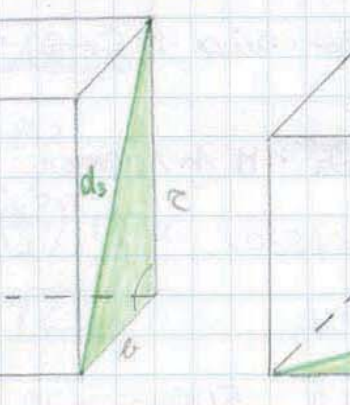


Abb. 25 Luftschalldämmung, Vergleich

In Abb. 25 ist ersichtlich, dass Türen ohne abgedichteter Funktionsfuge etwa eine um 10 dB niedrigere Schalldämmung aufwiesen, als mit Abdichtung.

Würfels

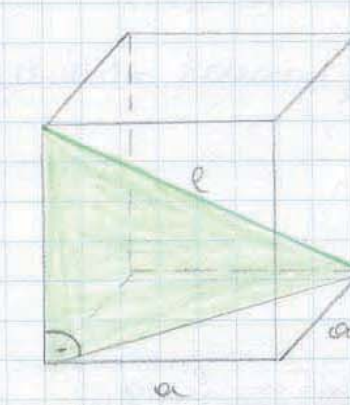


echts)  $d =$

$$b^2 + c^2 = d^2$$

$$\sqrt{b^2 + c^2} = d$$

Würfels



$$d = a \cdot \sqrt{2}$$

$$e^2 = a^2 + d^2$$

$$e^2 = a^2 + 2a^2$$

$$e^2 = 3a^2$$

$$e = \sqrt{3a^2}$$

$$e = a\sqrt{3}$$

In Abb. 26 sind die Messergebnisse der Trittschalldämmung für Decken zwischen nebeneinanderliegenden Klassen und Decken zwischen Gang und Klassen dargestellt. Alle Prüfergebnisse der nebeneinanderliegenden Decken entsprachen der Mindestanforderung von  $L_{nT,w} = 48$  dB. Die Messergebnisse der Decken zwischen Gang und Klassenzimmer wiesen Überschreitungen auf.

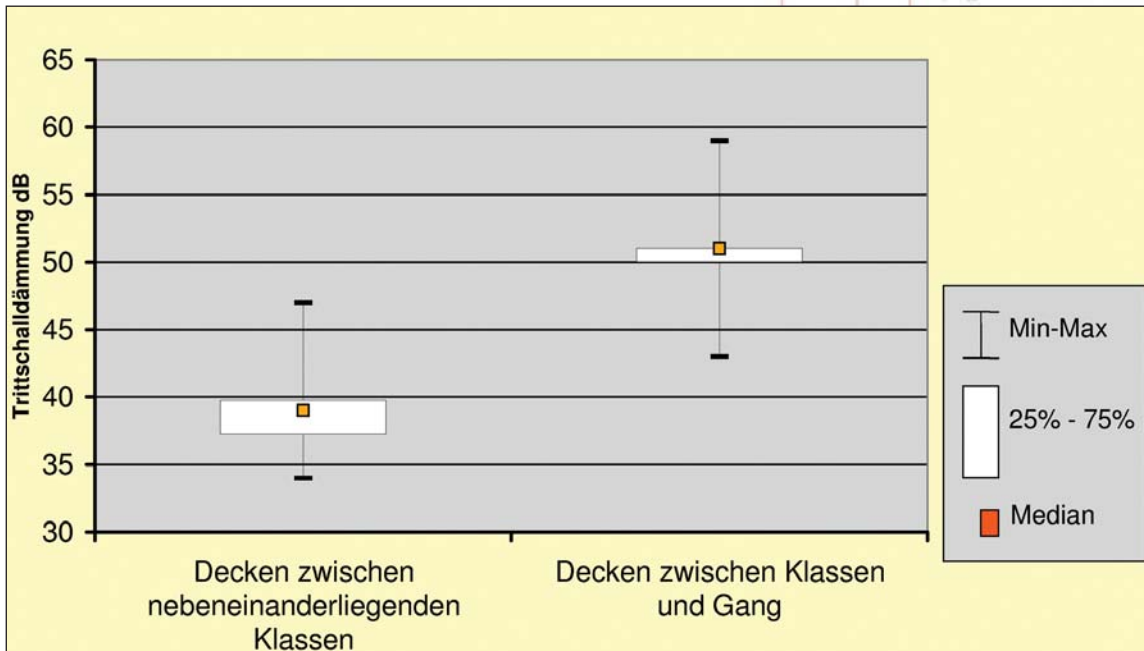


Abb. 26 Trittschalldämmung, Vergleich



## 5 Maßnahmen

### 5.1 Radon

Infolge der Anwendung der Beurteilungskriterien für Radon-222 in Innenräumen auf die Ergebnisse in den untersuchten Schulen wird empfohlen:

1. In den 4 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten über 2000 Bq/m<sup>3</sup> durch zusätzliche Radon-Messungen mit aktiven, aufzeichnenden Messgeräten die detaillierte Radonsituation in den betroffenen Räumen festzustellen und anschließend weitere Maßnahmen festzulegen.
2. In den 19 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 1000 Bq/m<sup>3</sup> und 2000 Bq/m<sup>3</sup> innerhalb von drei Jahren eine Radonsanierung der betroffenen erdgebundenen Unterrichtsräume durchzuführen. Falls möglich, sollten die betroffenen erdgebundenen Unterrichtsräume bis zum Sanierungszeitpunkt nicht mehr genutzt werden oder jedenfalls sollte durch die Ausführung eines ausreichenden Raumlüftungsplanes die Radonexposition in diesen Räumen vermindert werden.
3. In den 16 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 600 Bq/m<sup>3</sup> und 1000 Bq/m<sup>3</sup> innerhalb von 10 Jahren eine Radonsanierung der betroffenen Räume vorzusehen. Falls möglich, sollten die betroffenen erdgebundenen Unterrichtsräume bis zum Sanierungszeitpunkt nicht mehr genutzt werden oder jedenfalls sollte durch die Ausführung eines ausreichenden Raumlüftungsplanes die Radonexposition in diesen Räumen vermindert werden.
4. In den 25 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 400 Bq/m<sup>3</sup> und 600 Bq/m<sup>3</sup> sollte durch entsprechende Änderung des Nutzungskonzeptes für die betroffenen erdgebundenen Räume oder durch die Ausführung eines Lüftungsplanes die Radonsituation für die betroffenen Personen verbessert werden. Bei zukünftigen allgemeinen baulichen Sanierungsmaßnahmen sollte der Radonsanierungszeitpunkt miteinbezogen werden.

### 5.2 Chemische Innenraumlufschadstoffe

#### 5.2.1 Formaldehyd

In Hinblick auf die hohe Empfindlichkeit mancher Menschen gegenüber Formaldehyd empfiehlt es sich bei Neubau und Renovierung, auf möglichst formaldehydarme bzw. formaldehydfreie Materialien zurückzugreifen. Dies betrifft vor allem Holzwerkstoffe, deren maximale Formaldehydabgabe zum Teil in der Formaldehydverordnung (1990) geregelt ist. Bei der Beschichtung von Holzfußböden dürfen, wie auch die Lösungsmittelverordnung vorschreibt, keine stark lösungsmittelhaltige Lacke vom Typ "Säurehärter" eingesetzt werden, die erfahrungsgemäß in der ersten Zeit nach Beschichtung in hohem Ausmaß Formaldehyd an die Raumluft abgeben.

#### 5.2.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC - Volatile Organic Compounds)

Im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes wird empfohlen, die Verwendung lösungsmittelhaltiger Produkte bei Bau und Renovierung von Schulen nach Möglichkeit einzuschränken. Bei der Auswahl von Oberflächenbeschichtungen, Klebern und Bautenanstrichen wäre auf lösungsmittelarme, wasserverdünnbare Produkte zurückzugreifen und dies auch in der Ausschreibung zu berücksichtigen. Im Speziellen betrifft dies sogenannte Bitumenanstriche, die häufig in Kombination mit Bitumenpappen zur Abdichtung gegen Wasser und Feuchtigkeit im Boden- und Deckenbereich eingesetzt werden.

Als starke Quelle von VOC sind auch synthetische Lösungsmittel enthaltende Holz-Fußbodenbeschichtungen (Versiegelungen) zu betrachten, deren Anwendung laut Lösungsmittelverordnung auch für Professionisten verboten ist. Es wird empfohlen, lösungsmittelarme Rezepturen (Kunstharze oder Naturharze) einzusetzen.

Diätischfliche

### 5.2.3 Pentachlorphenol (PCP), Lindan

PCP-hältige Präparate sind in der Regel mit polychlorierten Dioxinen und Furanen verunreinigt. Im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes wird daher empfohlen, bei Vorliegen von relevanten Quellen an PCP, Sanierungsmaßnahmen einzuleiten.

Spann bedeutet, dass nicht für Konsumartikel besetzt ist.

Es existieren mehrere Möglichkeiten zur Senkung der Raumluftkonzentration an PCP in Innenräumen. Prinzipiell ist das Beschichten mit einem Spezialanstrich möglich. Die Entfernung der kontaminierten Holzteile bietet immer die beste Gewähr für einen Erfolg der Sanierung. Sind Fenster betroffen, sollten schon aufgrund des Alters der Bauteile die Fensterflügel samt Rahmen komplett ausgetauscht werden, dies auch in Hinblick auf Einsparungen von Heizenergie durch moderne Fensterkonstruktionen. Im Falle von Holzflächen, bei denen ein direkter Hautkontakt mit dem behandelten Holz möglich ist, ist in jedem Fall ein Entfernen der obersten Materialschicht bzw. ein kompletter Austausch zu empfehlen.

Spezialanstrich: Holzspanne finanzielle Absicht

Im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes wird empfohlen, bei Schulen bis Baujahr 1985, in denen großflächige Holzverkleidungen vorhanden sind, eine eventuelle Verunreinigung mit PCP in Erwägung zu ziehen und eine Messung der Schadstoffkonzentration zu veranlassen.

Spann man spart für ein

### 5.2.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Da in keinem der untersuchten Objekte erhöhte Werte gemessen wurden, sind keine speziellen Maßnahmen erforderlich.

Spann man spart, um

## 5.3 Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Raumklima

Durch wirkungsvolles und konsequentes Lüften in den Pausen wird eine wesentliche Verbesserung der Situation erzielt. Folgende Maßnahmen sind dabei zu beachten:

Formen des Spanns und

- Die Belüftung der Klassenzimmer und anderen Aufenthaltsräume sollte zumindest in den Pausen, bei dicht belegten Klassen womöglich auch einmalig während der Stunde vorgenommen werden.
- Die am weitesten verbreitete Lüftungsart, gekippte Fenster, führt zu größeren Energieverlusten als bei der Quer- und Stoßlüftung. Zur Dauerlüftung ist diese Kippstellung nur in der warmen Jahreszeit geeignet.
- Soll die Raumluft energiesparend in kurzer Zeit komplett ausgetauscht werden, ist die geeignetste Lüftungsmethode die Querlüftung. Im Raum muss ein Durchzug möglich sein. Bei weit geöffneten Fenstern und Türen gegenüberliegender Räume zieht eine kräftige Luftbewegung auch Luftpolster aus Nischen und Ecken ab.
- Die Dauer der Belüftung richtet sich nach der Außentemperatur. Der Belüftungsvorgang sollte 5 bis 15 Minuten andauern.

Spann ein Haberpapier besitzt kann gegen um unbeachtliche dem Geldinstitut gegen Unterschrift die Verzinsung nicht nach der Lage am

Manuelles Lüften stellt eine wirkungsvolle und notwendige, jedoch nicht in allen Fällen hinreichende Maßnahme dar. Auch konsequentes Lüften in den Pausen reicht vor allem bei mittel bis stark belegten Klassen und dichten Fenstern nicht aus, die erforderliche Frischluftmenge sicherzustellen.

Spann Staat fördert die

Die Sparleistung ist Die Beträge sind

Bedeutung

des Sparrns

In diesen Fällen ist zur Gewährleistung ausreichender Frischluftzufuhr bzw. zur Vermeidung maßgeblicher Überschreitungen des hygienisch erforderlichen CO<sub>2</sub>-Zielbereichs ein zusätzliches Lüften während der Unterrichtszeiten oder der Einbau von kontrollierten Raumlüftungsanlagen erforderlich.

#### 5.4 Geruchsbelästigungen

Unzweckmäßige Schränke zur Lagerung von Chemikalien sollten durch entsprechende Chemikalienschränke mit Abluftabsaugung ersetzt werden. Dadurch können Geruchsbelästigungen verhindert werden. Sollten die vorhandenen Schränke derzeit nicht durch Chemikalienschränke ausgetauscht werden können, so sollten die Chemikalien zumindest in gut belüfteten Räumen gelagert werden.

#### 5.5 Schimmelbildung

In den meisten Fällen mit starkem Schimmelbefall ist eine bautechnische Sanierung notwendig. Diese besteht in erster Linie in einer "Trockenlegung der Mauern" und anschließender Entfeuchtung. An zweiter Stelle steht eine wärmetechnische Sanierung, d.h. zusätzliches Anbringen einer Wärmedämmung an die Gebäudehülle.

In den Schulen, die unter "erhebliche Schimmelbildung" eingestuft wurden, müssen mittelfristig Sanierungsmaßnahmen gesetzt werden, die für eine dauerhafte Vermeidung weiterer Schimmelbildung erforderlich sind.

Bei den Schulen, die unter "geringfügiger Schimmelbefall" eingestuft wurden, wird eine langfristige Sanierung empfohlen. Bis zu einer dauerhaften Sanierung sollte die Schimmelbildung kontrolliert und zumindest einmal jährlich der Schimmel sachgemäß entfernt werden.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Nutzerverhalten zu. Bei ungenügender Entlüftung der Räume steigern sich die nutzungsbedingten Feuchtigkeitsabgaben zu erheblichen Wassermengen, sodass die normale Belastbarkeit der Räume sehr bald überschritten wird, insbesondere dann, wenn der Wärmeschutz der Außenbauteile mangelhaft ausgeführt wurde.

Bewusstes, umsichtiges Verhalten der Benutzer kann die Schimmelbildung minimieren. An erster Stelle steht dabei die ausreichende, richtige Belüftung (siehe 5.3) der Räume, wodurch die Feuchtigkeit abtransportiert wird. Zusätzlich werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Möbelstücke sollten nicht direkt an der Außenwand stehen (Hinterlüftung).
- Es sollte als Faustregel zumindest solange gelüftet werden, bis sich keine Feuchtigkeit mehr an den Scheiben der geöffneten Fenster niederschlägt.

#### 5.6 Zugluft und Gebäudedichtheit

Generell sind Fenster in Klassenräumen mit einem Luftwechsel über 3 h<sup>-1</sup> auf ihre Funktion zu kontrollieren und nötigenfalls zu sanieren bzw. bei entsprechendem Alter zu erneuern.

Bei Neubauten wird empfohlen, zur Qualitätskontrolle Luftdichtheitsmessungen durchführen zu lassen. Konstruktionen müssen zweifach gegen Luftundichtheiten geschützt werden: An der Außenseite ist eine diffusionsoffene Winddichtung erforderlich; an der

Raumseite sollte eine Luftdichtung (Dampfbremse bzw. Dampfsperre) vollflächig luftdicht ausgeführt werden. Auch bei Anschlüssen und Übergängen ist auf eine optimale Luftdichtheit zu achten.

## 5.7 Akustik

Eine akustisch optimale Klassenraumgestaltung lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Der Störgeräuschpegel von außen oder aus Nachbarräumen soll so niedrig wie möglich sein
- Der Störgeräuschpegel im eigenen Raum soll so niedrig wie möglich sein
- Die Nachhallzeit soll im optimalen Bereich liegen
- Schallreflexionen von der Rückwand sind zu vermeiden
- Eine gute Sichtbeziehung zwischen Tafel, Lehrer (Mund) und Mitschülern (Mund) sollte gewährleistet sein
- Hörgeschädigte Kinder benötigen, wenn erforderlich, auch eine elektroakustische Unterstützung

Zur Schallabsorption und zur Störgeräuschvermeidung ergeben sich die wesentlichsten Schallabsorptionsflächen durch Maßnahmen an der Decke und an der Rückwand. In Unterrichtsräumen mit integrierten hörgeschädigten Kindern empfiehlt es sich an glatten Flächen wie Fenstern, Vorhänge anzubringen und im Sitzbereich dieses Schülers einen Teppich aufzulegen. Auch eine optimale Sitzanordnung - Sichtbeziehung (Mund) - für hörgeschädigte Kinder gehört zu einem sinnvollen Gesamtkonzept der Integrationschulen (sonderpädagogisches Unterrichten).

Eine Absenkung der Nachhallzeit in den Unterrichtsräumen/Werkräumen kann in vielen Fällen schon durch einfache Maßnahmen erreicht werden. Hierzu gehören z.B. das Anbringen von schweren Vorhängen aus schwerbrennbarem und schwachqualmendem Material und Pinnwänden. Durch die Rechteckform der Unterrichtsräume könnte es zu sogenannten Flatterechos kommen. Diese entstehen durch Vielfachreflexionen an den parallelen Seitenwänden. Durch absorbierende Wandelemente, die auch als Pinnwände (z.B. mit Stoff überzogene Weichfaserplatten) gestaltet werden können und Vorhängen an den Fenstern, könnten diese unterbunden werden.

Turnsäle sollten raumakustisch so gestaltet sein, dass der Lärm in erträglichen Grenzen gehalten wird. In vielen Fällen wird aber eine raumakustische Sanierung durch die Installation von schallabsorbierenden Wand- und/oder Deckenverkleidungen erforderlich sein. Solche Verkleidungen bewirken eine Verringerung der Nachhallzeit, eine bessere Sprachverständlichkeit und eine Verringerung des Grundgeräuschpegels. Sämtliche Verkleidungen müssen ballwurfsicher und bei textilen Verkleidungen aus schwerbrennbarem und schwachqualmendem Material sein. Die Verkleidungen sind bis zu einer Höhe von 2 m anprallmindernd auszuführen.

Lange Nachhallzeiten in den Gängen bewirken, dass der Aufenthalt in den Pausen nicht mehr der kurzzeitigen Erholung dienen kann, da sich bedingt durch die schallharten Begrenzungsflächen der Schallpegel noch zusätzlich erhöht. Da in Gängen und Pausenhallen von Schulen die raumakustische Ausstattung vor allem der Lärmreduzierung dient, sind die hier angeführten Anforderungen an die schallabsorbierende Ausstattung als Minimalwerte anzusehen. Eine höhere Absorption ist durchaus zweckmäßig und nur durch die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten begrenzt.

per 31. Dez. 1997

## 5.8 Lärm

### Lärm durch Straßenverkehr

Bei bestehenden Schulen wird bei einem starken Verkehrslärm meist nur die Möglichkeit des Einbaus von Schallschutzfenstern bestehen. Durch diese ergibt sich jedoch unter Umständen die Problematik, dass während des Unterrichts die Fenster wegen der Lärmbelastung nicht geöffnet werden können. Daher müssten beim Einbau von Schallschutzfenstern entsprechende Lüftungsanlagen mitgeplant werden.

Bei neu zu planenden Schulen wird hinsichtlich der Vermeidung von Lärmbelastungen durch Straßenverkehr auf die Oö. Schulbau- und Errichtungsverordnung 1994 hingewiesen.

Bei der Vermeidung von Verkehrslärmproblemen kommt der Auswahl des Grundstückes und der sorgfältigen Planung eine entscheidende Rolle zu.

### Luftschalldämmung

Eine Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen den Klassenzimmern bzw. falls gewünscht zwischen den Klassenzimmern und dem Gang kann durch eine umlaufende Lippendichtung bei den Türen erreicht werden.



## 6 Resümee und Ausblick

Da sich die Menschen in unseren Breiten einen Großteil ihres Lebens in Innenräumen aufhalten, sind Faktoren, die die Gesundheit und das Wohlbefinden beeinträchtigen können, ein besonderes Augenmerk zu schenken. Ein herausragendes Schutzbedürfnis haben dabei Kinder und Jugendliche.

Die Verknüpfung, Zusammenschau und Bewertung sämtlicher erhobener Daten ergaben, dass in 90 % - 95 % der teilnehmenden Schulen keine gesundheitlichen Risiken hinsichtlich erheblichem Schimmelbefall, chemischen Innenraumschadstoffen und Radon bestehen. Die Erhebungen zeigen einerseits, dass ein Großteil der Schulen keine Risikofaktoren aufweisen und andererseits ein Verbesserungsbedarf für Betreiber einzelner, bestehender und ein Vorsorgebedarf für Planer zukünftig zu errichtender Schulen besteht.

Die Untersuchung bestätigt, dass durch die Nutzung erdberührter Räume als Unterrichtsräume in Verbindung mit der geologischen Situation Oberösterreichs in Einzelfällen mit erhöhten Radon-Aktivitätskonzentrationen zu rechnen ist. Obwohl der überwiegende Teil der untersuchten Schulen in dieser Hinsicht problemfrei ist, wurden im Zuge dieser Erhebung einige gefunden, die einer weiteren Überwachung und mittelfristig einer bautechnischen Sanierung bedürfen.

Die Ergebnisse zeigen einmal mehr, dass gerade in gemeinschaftlich genutzten Innenräumen die regelmäßige Zufuhr von Frischluft wesentlich zum Wohlbefinden, zur Erhaltung der Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit sowie zur Gesundheitsvorsorge beiträgt. Regelmäßiges Lüften ist ein wesentlicher Beitrag zur Schadstoffreduktion und Abfuhr von durch den Menschen verursachten Luftverunreinigungen. Zur Reduktion des Wärmeenergieverbrauches sollte im Winterhalbjahr der Quer- und Stoßlüftung gegenüber der Dauerlüftung (gekipptes Fenster) der Vorzug gegeben werden. Lüften stellt eine wirkungsvolle und notwendige, jedoch in vielen Fällen nicht hinreichende Maßnahme dar. Auch konsequentes Lüften in den Pausen reicht bei mittel bis stark belegten Klassen und dichten Fenstern nicht aus, die erforderliche Frischluftmenge dauerhaft sicherzustellen.

Als Handlungsgrundlage für Nutzer und Planer zur Sicherstellung einer optimalen CO<sub>2</sub>-Situation wurde ein Rechenmodell für Unterrichtsräume entwickelt, das in der Lage ist, aufgrund der Klassenschüleranzahl, dem Raumvolumen und dem Zustand der Fenster die zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen vorherzusagen. Bei zukünftigen Schulneubauten kann eine kontrollierte Raumlüftungsanlage zur automatisierten Sicherstellung eines ausreichenden Luftaustausches und Abfuhr des ausgeatmeten CO<sub>2</sub> und zur Reduktion der Lärmbelastung von außen beitragen. Diese Maßnahme sollte in messtechnisch begleiteten Pilotprojekten praktisch erprobt werden.

In einigen Fällen reicht die Anpassung der Lüftung nicht aus, um einen akzeptablen Zustand der Innenraumluftsituation in Bezug auf Radon und Schimmel sicherzustellen. In diesen Schulen können nur bautechnische Sanierungsmaßnahmen Abhilfe schaffen.

Generell nicht zu vernachlässigen im Hinblick auf das Wohlbefinden ist auch die Frage der akustischen Situation. Unzureichende Lärmdämpfung und Nachhalleffekte (z.B. Flatterechos) können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen und psychosomatischen Auswirkungen führen. Gerade diese bauphysikalischen Mängel sollten in Einzelfällen saniert und bei zukünftigen Bauten durch sachgemäße Planung vermieden werden.

Aus der Erhebung des Ist-Zustandes der Innenraumsituation wurden nicht nur den einzelnen konkret betroffenen Schulen kurz- und mittelfristige Sanierungsschritte empfohlen, sondern darüber hinaus wurde auf Basis der Ergebnisse der Untersuchungen in den ober-

### Wiederholung

Lackner / BS 6

1. Erklären Sie den Un

die Breiten

2. Erläutern Sie welche

Formeln za

3. Erklären Sie folgend

=MAX(A5:A20)...

=HEUTE()...

=Summe(A1:C20)...

=Mittelwert(C2:C10)

4. Worin liegt der Unters

relativ: is

absolut: w

5. Wie können Sie eine

Wen man

6. Wie können Sie Arbe

unter der

Spalte an

7. Erklären Sie die Fehl

=Heute( )...Wen...

=Max ( Zelle : Zelle )...

=Durchschnitt(A5:A10)

8. In den Feldern B12 b

kleinste ist? Die

den is

9. Wie lautet die Funkti

erhält er eine Ermäßi

die Gebühr in Zelle C

= (WENN (B5 <

= (WENN (B5 <

10. Nennen Sie mind

Geisböck

Kalkulation



österreichischen Schulen und Kindergärten eine zusammenfassende Empfehlung für Planer und Nutzer zur Vermeidung von Innenraum-Belastungen in Schulen und Kindergärten zusammengestellt (<http://www.ooe.gv.at/Umwelt>). Damit tragen die Untersuchungen der vergangenen Jahre wesentlich dazu bei, dass zukünftig bei der Gestaltung, Ausstattung und Nutzung von Schulen, Kindergärten und Kinderbetreuungseinrichtungen optimal Vorsorgemaßnahmen ergriffen werden können.

**Fragebogen in Excel**

Unterschied zwischen Arbeitsmappe und Tabellenblatt:

Arbeitsmappe enthält 16 Tabellenblätter \* (links)

Eintragungen in Zellen möglich sind:

Zahlen, Texte, Werten

Formel-Eintragungen:

Beispiel: Provision z.B.: von einem Vertreter (größtmögliche Wert) zwischen 45 und 120  
 erhöht das Datum um, ändert sich jeden Tag  
 rechnet die Summe der Felder A1-C20 aus  
 rechnet den Durchschnittswert der Felder C2 bis C10 aus

Unterschied bei relativem und absolutem Kopieren?

Bei relativer Kopieren kopieren Formeln und ein Datum herunterziehen. Bei absolutem braucht man eine Formel, wo man \$-Zeichen eingeben muss

Tabelle auf Formelebene ausgeben?

STRG + das #-Zeichen  
 STRG + Raute-Zeichen

Arbeitsblätter sortieren?

Rechtsklick; Sortieren; eingeben welches Feld, hier werden soll

Verhalten bei folgenden Funktionen:?

max: die Klammern zusammen schreiben (Klammet)  
 man muß Max gleich ein Klammern schreiben  
 man schreibt nicht Durchschnitt sondern "Mittelwert"

Wenn in F100 sind Werte eingetragen. Wie können Sie herausfinden, welcher der

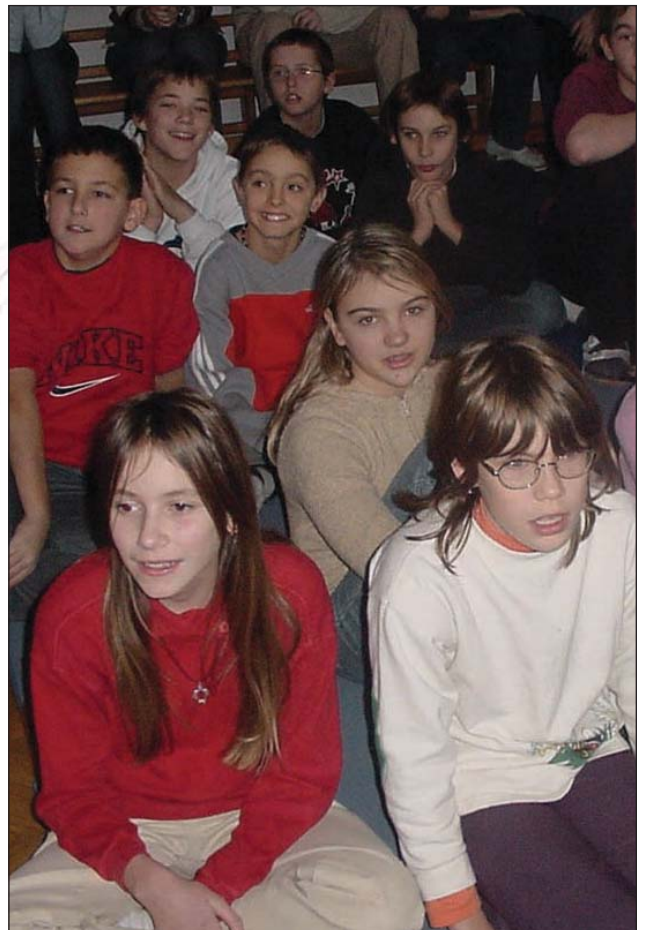
Sortieren, ~~Sortieren~~ absteigend oder kleinste finden

Formel für folg. Berechnung: Wenn der Kursteilnehmer jünger als 21 Jahre ist, Ermäßigung von 10%; ansonsten muß er voll bezahlen. Das Alter steht in Zelle B5; die Ermäßigung in Zelle D5.

Formel:  $=21; B5 < 21; -10\%$

5 kfm. Anwendungsbereiche für Excel?

Planung, Kostenrechnung, Controlling, ...





Volk  
Welt  
Zeit  
Raum  
Kultur  
Natur

FRÜHLING

31 =



### Impressum:

#### Land Oberösterreich

Umwelt- und Anlagentechnik

Aufgabenbereich Umwelttechnik

Leitung: Dipl.-Ing. Erwin **Nadschläger**

4020 Linz, Stockhofstr. 40

Tel.: 0732 / 7720 - 14543, Fax: - 14520

e-Mail: [u-ut.post@ooe.gv.at](mailto:u-ut.post@ooe.gv.at)

Besuchen Sie auch unsere Homepage unter:

<http://www.ooe.gv.at/umwelt>

Layout: Manfred Frosch

