

Innenraumsituation in OÖ. Pflichtschulen, Berufsschulen und Landwirtschaftlichen Fachschulen

Erhebungs- und Messprogramm

Endbericht

April 2003

Projektmitarbeiter:

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

Beteiligte Institutionen:

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

Projektkoordination:

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

Wissenschaftliche Gesamtleitung:

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

Kurzfassung

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

Insgesamt gibt es in diesem Bereich 926 Schulen in Oberösterreich. Von diesen 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 Erhebungsergebnissen in der Datenbank und deren Sichtung, Verknüpfung und Bewertung wurden an Schulen, bei denen die Daten Verdachtsmomente auf erhöhte Belastungsfaktoren ergaben, Erhebungen vor Ort (Schimmelbefall) und messtechnische Bestimmungen (Radonkonzentration, Gebäudedichtheit, Innenraumlufschadstoffe, Akustik) durchgeführt.

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

Auf Basis sämtlicher Erhebungen mittels Fragebogen, Messtechnik und fachkundiger Ortsaugenscheinnahe werden Maßnahmen zur Behebung offensichtlich gewordener Mängel empfohlen. Darüber hinaus werden aus den Erfahrungen der Studien Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen bei zukünftigen Schul- und Kindergarten-Neubauten zur Sicherung der Innenraumlufthqualität, Akustik und bauphysikalischen Qualität gegeben.

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

Inhalt

1	Motivation und Ziele	6
2	Projektplan	7
2.1	Arbeitsumfang	7
2.2	Arbeitsumfang und Zeitplan	8
2.3	Kooperationspartner	9
3	Auswertung der Fragebögen	10
3.1	Fragebogenerstellung	10
3.2	Kritische Bewertung der Fragebogenaktion	13
3.3	Ergebnisse	14
4	Radon	24
4.1	Motivation	24
4.2	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	24
4.3	Ergebnisse	26
4.4	Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen	32
5	Chemische Schadstoffe	35
5.1	Allgemeines	35
5.2	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	35
5.3	Ergebnisse	40
5.4	Bewertung der Ergebnisse, Empfehlungen und Maßnahmen	46
6	Kohlenstoffdioxid	60
6.1	Allgemeines Untersuchungskonzept	60
6.2	Rechenmodell für Kohlendioxid in Schulklassen	60
6.3	Ergebnisse	61
7	Geruch	62
7.1	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	62
7.2	Ergebnisse	64
7.3	Empfehlungen und Maßnahmen	65

8	Schimmel	66
8.1	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	66
8.2	Ergebnisse - Begehungen	68
8.3	Ergebnisse - Pilzsporenmessungen	72
8.4	Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen	75
9	Zugluft, Gebäudedichtheit	79
9.1	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	79
9.2	Ergebnisse	82
9.3	Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen	87
10	Energiebuchhaltung	88
11	Akustik	89
11.1	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	89
11.2	Ergebnisse	92
11.3	Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen	96
12	Lärm	102
12.1	Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung	102
12.2	Ergebnisse	104
12.3	Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen	110
13	Medizinische Bewertung der Belastungsfaktoren	111
13.1	Radon im Innenraum	111
13.2	Chemische Innenraumschadstoffe	112
13.3	Kohlenstoffdioxid	115
13.4	Schimmel	115
	Literatur	118

Anlagen

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: Erhebung der Radonexposition in Kindergärten‘ erfolgreich abgeschlossen. In weiterer Folge wurde seitens des Landes Oberösterreich beschlossen, die Untersuchungen und Bewertung der bauphysikalischen Qualität der Innenräume in logischer Konsequenz auf Oberösterreichs Pflicht- und Berufsschulen sowie landwirtschaftlichen Fachschulen auszuweiten. Dabei soll der Iststand jener Gebäude- und Innenraumfaktoren an oberösterreichischen Schulen erhoben werden, die die Innenraumsituation im wesentlichen bestimmen:

Radon	Polychlorierte Biphenyle
Schimmel	Kohlenstoffdioxid, Luftwechsel
Formaldehyd	Geruchsbelästigungen
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	Zugluft, Gebäudeundichtheiten
Pentachlorphenol, Lindan (Holzschutz)	Akustik

Die Ergebnisse dieser Erhebung sollen anhand von aktuellen wissenschaftlich-technischen und raumhygienischen Maßstäben bewertet werden. Auf Basis dieser Bewertung sollen bestehende Mängel und Lösungsmöglichkeiten sowie deren Umsetzungsmöglichkeiten aufgezeigt und bei den zuständigen Stellen angeregt werden. Für zukünftige Schulneubauten sollen im Zuges dieses Projekts Empfehlungen erarbeitet werden, die auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse zukünftig bauphysikalische Mängel der Innenraumqualität verhindern können.

Die grundlegenden Ziele der Studie sind:

- die Erhebung der Radon- und Innenraumluftsituation sowie der akustischen Verhältnisse in den Schulen Oberösterreichs,
- die Bewertung der Erhebungsergebnisse hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung der Kinder/ Jugendlichen und des Personals und
- die Erstellung einer generellen Empfehlung für Vorsorgemaßnahmen bei Schulneubauten

2 Projektplan

2.1 Arbeitsumfang

Folgende Einzelarbeiten wurden im Projekt „Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder und Jugend: Erhebung, Bewertung und Verbesserung der Radon- und Schadstoffsituation und bauphysikalischen Innenraumqualität an oberösterreichischen Pflichtschulen und Landesschulen“ durchgeführt:

- Vorbereitung der Erhebungen
- Erstellung des Fragebogens für die Ersterhebung an den Schulen und
- Erstellung und laufende Anpassung eines detaillierter Zeit- und Arbeitsplanes
- Befragung der teilnehmenden Schulen zur Erhebung der Innenraumsituation hinsichtlich Radon, chemischer Luftschadstoffe und bauphysikalischer Qualitätsfaktoren
- meßtechnische Erhebungen der Radonexposition in den Schulen in Kooperation mit dem Bundesamt für Agrarbiologie
- Bewertung der messtechnischen Erhebungen der chemischen Innenraumschadstoffe in den Schulen in Kooperation mit dem Innenraum Mess- und Beratungsservice
- statistische Auswertung der Erhebungsergebnisse
- ergänzende Detail-Messungen
- Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse
- wissenschaftliche Gesamtbeurteilung der Erhebungsergebnisse hinsichtlich der zu setzenden Sanierungsmaßnahmen
- Erarbeitung einer Empfehlung zur Verringerung der Radonexposition und Verbesserung der bauphysikalischen Innenraumqualität bei zukünftigen Schulneubauten
- projektbegleitende Dokumentation und Erstellung eines Zwischen- und eines Endberichts

2.2 Arbeitsumfang und Zeitplan

Das Projekt wurde unter Beachtung der zu Verfügung stehenden personellen und instrumentellen Kapazität in vier, sich zeitlich teilweise überschneidenden Projektphasen abgewickelt:

Basiserhebung Juli 2001 – Juli 2002:

Juli – Dezember 2001: Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Fragebogenerhebung

Jänner – Juli 2002: Radonmessungen - Periode 1, Erhebung von chemischen Innenraumlufschadstoffen und bauphysikalischen Innenraumfaktoren

Bewertung November 2001 – September 2002:

November – Dezember 2001: Bewertung der Gebäudesituation auf Basis der Fragebogenerhebung zur Planung der messtechnischen Erhebungen

Jänner – Juli 2002: Bewertung der Ergebnisse der messtechnischen Erhebungen, telefonische Nacherhebungen und fachkundige Ortsaugenscheinnahme zur Planung von notwendigen Nacherhebungen

September 2002: Zwischenbericht

Nacherhebung und Endbewertung Juli 2002 – Jänner 2003:

September 2002 – Dezember 2002: Radonmessungen - Periode 2

Juli 2002 – Jänner 2003: Wiederholungsmessungen, Abklärung unsicherer, mehrdeutiger Ergebnisse durch messtechnische Nacherhebungen und telefonische und persönliche Nacherkundungen

November 2002 – Jänner 2003: Gesamtbewertung sämtlicher Erhebungs-ergebnisse

Dokumentation und Umsetzung Jänner – Mai 2003:

Jänner – März: 2003: Erstellung des Endberichts

März – Mai 2003: Erstellung der Sanierungs- und Vorsorgeempfehlung

Mai 2003: Abschlussinformation der Öffentlichkeit und Anregung und Einleitung von Sanierungs- und Vorsorgemaßnahmen bei den zuständigen Stellen

2.3 Kooperationspartner

Bei der Durchführung des Projekts arbeiteten folgende Institutionen zusammen:

- Technisch operative und organisatorisch rechtliche Abteilungen und Arbeitsgruppen des Landes OÖ: Umwelt- und Anlagentechnik (Bau- und Sicherheitstechnik, Umwelttechnik, Umweltüberwachung), Statistik, Bildung, Jugend und Sport, Landessanitätsdirektion; Schulerhalter
- Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit AGES, Linz (Radonmessungen)
- Innenraum Mess- und Beratungsservice, Wien, Zentrum für Bauen und Umwelt, Donauuniversität Krems (wissenschaftliche Begleitung betreffend Innenraumluftschadstoffe)
- Land Oberösterreich, Umwelt- und Anlagentechnik, Umwelttechnik - Strahlenschutz (Projektmanagement und Projektkoordination)
- ARC Seibersdorf research GmbH, Umweltforschung, Low-Level Counting Labor Arsenal in Kooperation mit dem Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien (Radonmessungen und wissenschaftliche Gesamtleitung)

3 Auswertung der Fragebögen

(Cornelia Hofstädter, Heribert Kaineder)

3.1 Fragebogenerstellung

Im Jahr 1999 wurde das Untersuchungsprojekt „Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder“ gestartet. Dabei wurde die Innenraumsituation in den oberösterreichischen Kindergärten untersucht. Dieses Projekt wurde im Mai 2001 mit einem Endbericht abgeschlossen und dient als Grundlage für die Untersuchung in Oberösterreichs Pflicht- und Landesschulen.

Im August 2001 wurde der Fragebogen des Kindergartenprojektes überarbeitet und im Word-Format neu gestaltet. Gleichzeitig wurde eine Datenbank erstellt in der alle Schulen und deren Erhalter aus einer Datenliste des Bundesministeriums für Unterricht und Kunst, Abteilung Z3 eingetragen wurden. Anschließend wurden die Fragebögen über ein VBA - Makro aus der Datenbank vorausgefüllt und eindeutig mit der jeweiligen Schulkenzahl gekennzeichnet. Die Aussendung der Fragebögen erfolgte am 1. Okt. 2002 per E-mail, wobei jeder Schulerhalter eine E-mail (Anlage 3a) mit einem Begleitschreiben (Anlage 3b) und den dazugehörigen, vorausgefüllten Fragebögen (Anlage 3c) der Schulen erhielt. Die Erstellung der E-mails erfolgte datenbankgestützt. Im Wirkungsbereich der Landeshauptstadt Linz wurden die E-mails (Fragebogen, Begleitschreiben Land OÖ. Anlage 3d) nicht dem Erhalter (Magistrat), sondern den Schulen direkt mit einem eigenen Begleitschreiben des Magistrates (Anlage 3e) übermittelt. Die Rücksendung der ausgefüllten Fragebögen sollte bis 19. Okt. 2001 wiederum über E-mail vom Betreiber oder der Schule erfolgen. Alle Felder des Fragebogens wurden auch in die Datenbank aufgenommen. Die ersten Fragebögen wurden bereits am 3. Okt. zurückgeschickt (Abb. 3.1).

Alle Schulerhalter, die bis 19. Oktober 2002 , beziehungsweise bis zum 6. November 2001 noch keinen Fragebogen zurückgeschickt hatten, wurden per E-mail (Anlage 3f) bzw. telefonisch verständigt.

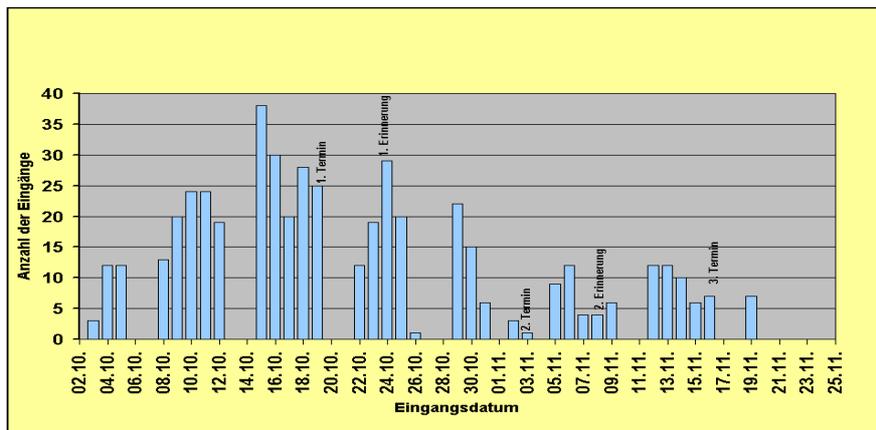


Abb. 3.1: Verlauf der Rückläufe der Fragebögen

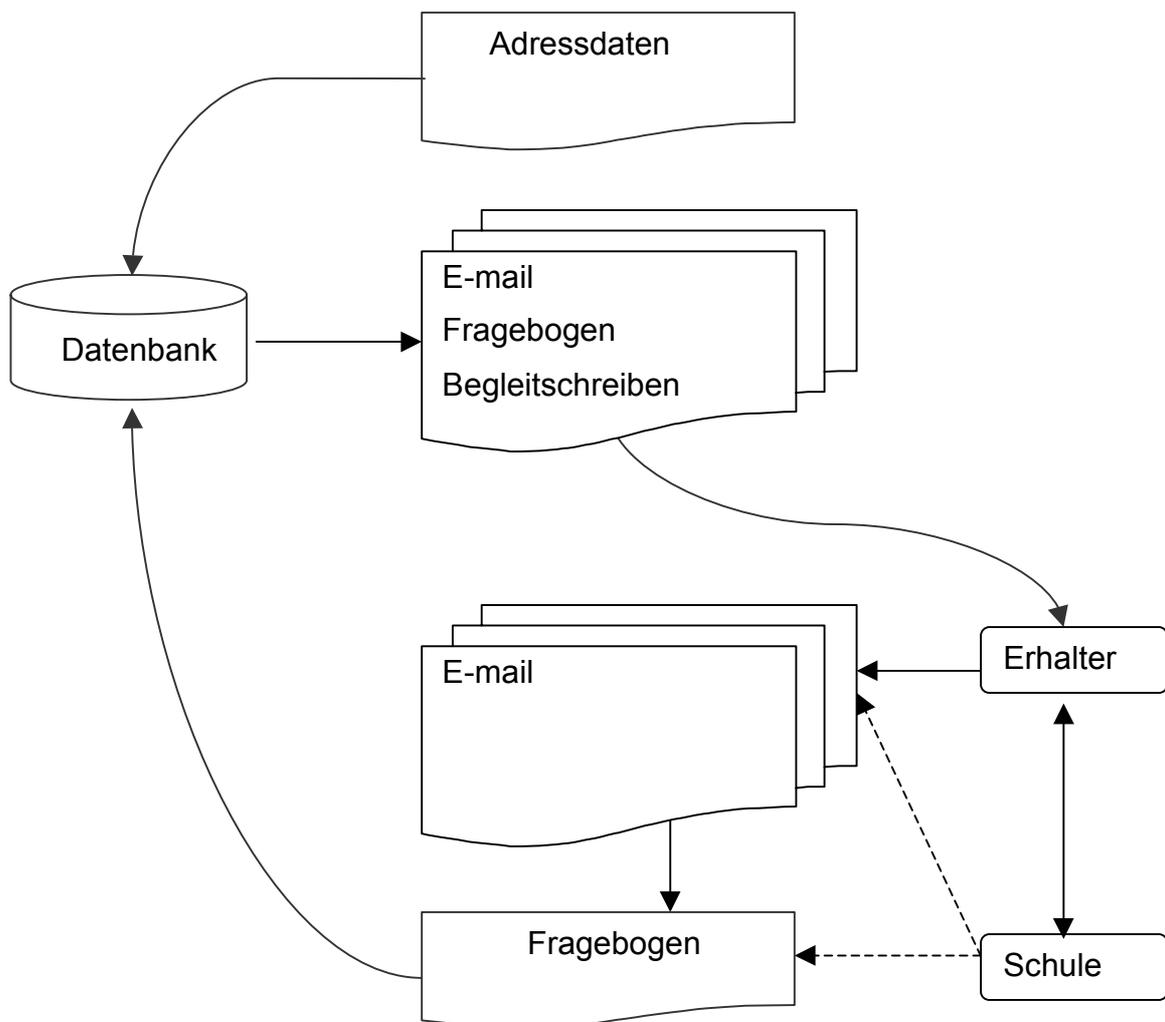


Abb. 3.2: Ablauf der Fragebogenaktion

Alle Fragebögen wurden aus den zurückgesendeten E-mails gefiltert und in ein Verzeichnis gestellt. Aus diesem Verzeichnis wurden die Fragebögen mit einer Plausibilitätskontrolle automatisch in die Datenbank übernommen. Bei vielen Fragebögen war es notwendig die Schulerhalter bzw. die Personen, die den Fragebogen ausgefüllt haben, noch einmal zu kontaktieren. Einige Antworten waren nicht eindeutig, sodass die Daten nicht automatisch importiert werden konnten. Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde mit den Auswertungen begonnen. Nach Abschluss der Auswertungen (Anfang Dezember 2001) wurden keine Fragebögen mehr angenommen. Da dieses Projekt auf eine Dauer von 2 Jahren konzipiert wurde, erhielten die Erhalter Ende Dezember 2001 ein Informationsschreiben (Anlage 3g) über den Stand der Studie.

3.2 Kritische Bewertung der Fragebogenaktion

3.2.1 Versand

Vorgang:	bisheriges System:	neues System per E-mail:
Fragebogen erstellen	Er muss kompakt und leicht zum Ausfüllen sein.	Es muss übersichtlich und somit leicht zum Ausfüllen am Bildschirm sein
Fragebogen vorausfüllen	Wäre möglich – extrem hoher Aufwand beim Einsortieren – Wurde bis jetzt noch nicht durchgeführt.	Sehr einfach (automatisch aus Datenbank in den Fragebogen) – Programmierarbeit (VBA Standardprogrammiersprache)
Versand	Über Poststelle verschicken Zusätzliche Kosten durch den Postversand	Zusammenführen des Begleitschreibens und der Fragebögen und anschließend Abschicken per E-mail
Falsche Adressen	Erst nach einigen Tagen Retouremeldung per Post – Reaktion daher viel später	Es waren mehr Adressen falsch als beim bisherigen System – jedoch Reaktion binnen Stunden
Annahme der Dokumente durch den Kunden	Briefträger – altes bewährtes und bekanntes System	Die genaue Anzahl der nicht geöffneten bzw. "verschwundenen" E-mails konnte nicht genau festgestellt werden – es wurden einige E-mails nach telefonischer Rücksprache nochmals versandt. Endgültiger Rücklauf 86,7%
Eingang der Fragebögen beim Land	Kontrolle durch einen Sachkundigen und anschließende Eingabe der Daten per Hand in die Datenbank Kunde füllt Fragebogen aus Land gibt zentral die Daten ein Sehr zeitintensiv	Kontrolle und Übernahme der Daten automatisch in die Datenbank – Fehlerprotokoll – keine Übernahme fehlerhafter Daten – Korrektur durch Sachkundigen – anschließend wiederum automatische Übernahme in die Datenbank durch Eingabe in die EDV werden die Daten dezentral beim Kunden eingegeben Automatische Übernahme in die Datenbank zeitsparend

3.2.2 Fragebogenstruktur

- Statt genauen Angaben (z.B.: Jahreszahlen) sollen zukünftig Kategorien eingeführt werden (z.B.: Jahreszahlenbereiche)
- Fragen müssen möglichst einfach zu beantworten sein (z.B.: Ja/Nein)
- Komplexe und offene Fragestellungen vermeiden
- Verschiedene Fragen zum selben Thema wenn möglich auf eine Ja/Nein Frage reduzieren. (Beispiel: Frage 29 könnte in Zukunft lauten: „Tritt in Räumen, in denen sich Personen länger als 15 Stunden pro Woche aufhalten, Schimmelbildung auf, die größer als 0,5 m² ist?“ – Ja/Nein-Frage)

3.3 Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse ist zu beachten, dass bei einigen Fragen die persönliche Meinung der befragten Person einging. Diese Ergebnisse bzw. Auswertungen basieren daher teilweise auf subjektiven Angaben.

3.3.1 Allgemeines

Insgesamt gibt es 926 Pflicht und Landesschulen in Oberösterreich. Von diesen 926 Schulen 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. In der Abb. 3.3 ist die Rücklaufquote graphisch dargestellt.

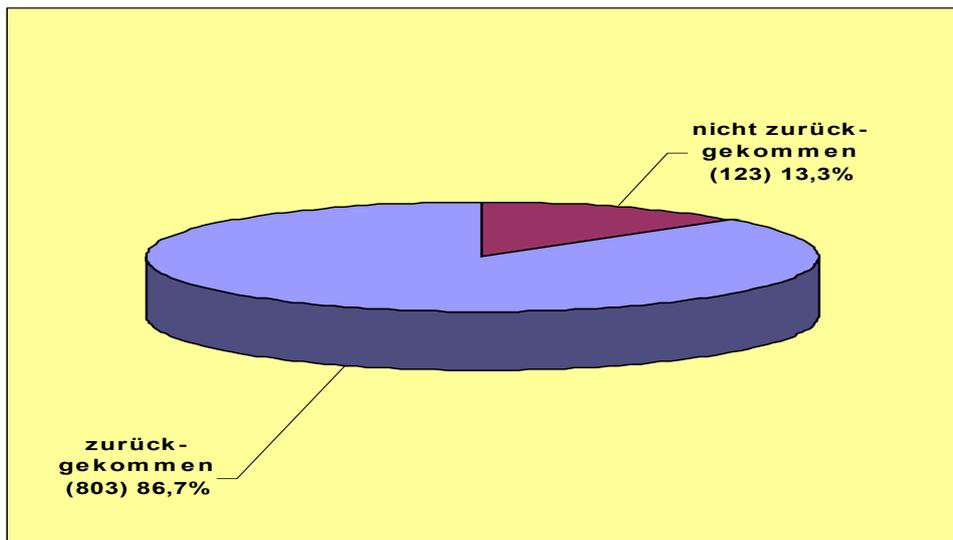


Abb. 3.3: Rücklaufquote der Fragebogen

Die Abb. 3.4 zeigt die Verteilung der einzelnen Schultypen (Volksschule, Hauptschule, Sonderschule, Polytechnische Schule, Berufsschule, Landwirtschaftsschule ...), welche sich am Projekt beteiligt haben.

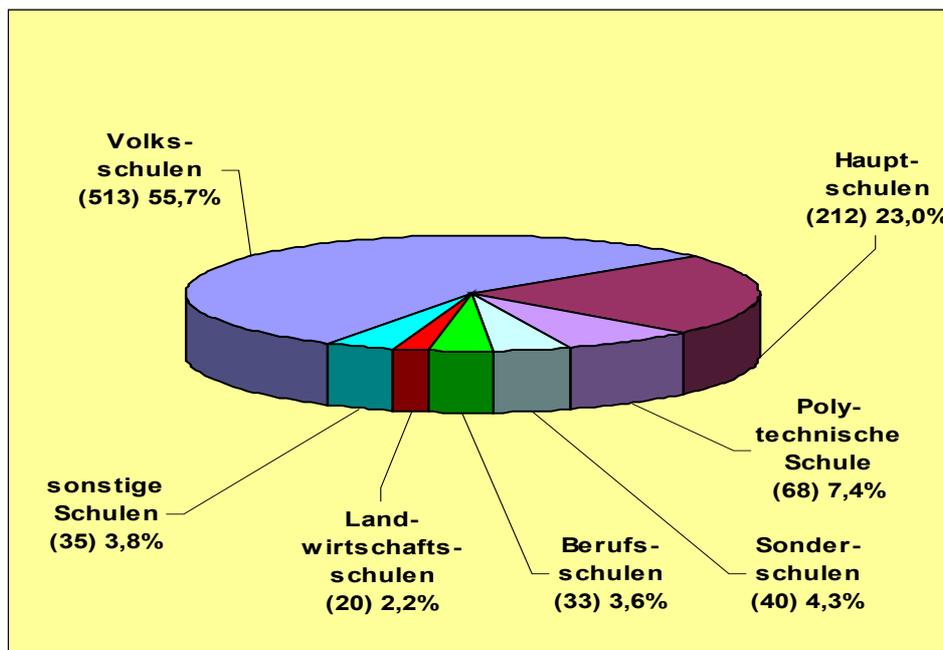


Abb. 3.4: Verteilung der Schultypen (Mehrfachnennungen möglich)

Der Fragebogen gliedert sich in 8 Teile. Diese werden in den folgenden Punkten näher erläutert. Ein Exemplar liegt dem Bericht als Anlage 3c bei. Wo es möglich war, wurde in dieser Anlage die Anzahl der Nennungen bei den Fragen zahlenmäßig angeführt. Eine komplette graphische Aufbereitung sämtlicher Befragungsergebnisse ist in Anlage 3h zu finden.

In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten erfragten Daten graphisch dargestellt. Bei manchen Fragen waren Mehrfachnennungen möglich, daher stimmt die Summe der Nennungen nicht immer mit der Anzahl der Schulen überein. Auswertungen, die eindeutig einem Fachbereich zugeordnet werden konnten, sind nicht unter den folgenden Punkten angeführt, sondern werden in den jeweiligen Kapiteln dieses Endberichts näher erläutert.

3.3.2 Gebäudedaten (Hauptgebäude ohne Exposituren):

Unter diesem Punkt wurde das Baujahr, das Sanierungsjahr und das Jahr des letzten Zubaus erfragt. Weitere Fragen beziehen sich auf die Bauweise der Schule (Mauerwerk, Bodenaufbau, Bauweise der obersten Geschoßdecke, Anzahl der Räume, etc.).

Wie man aus Abb. 3.5 erkennen kann, wurden die meisten Schulen zwischen 1990 und 2000 generalsaniert. Es handelte sich bei der Abb. 3.5 um ein Erhebungsergebnis. Die drei Generalsanierungen vor 1990 sind nicht erklärbar (z.B. missverständliche Eingabe)

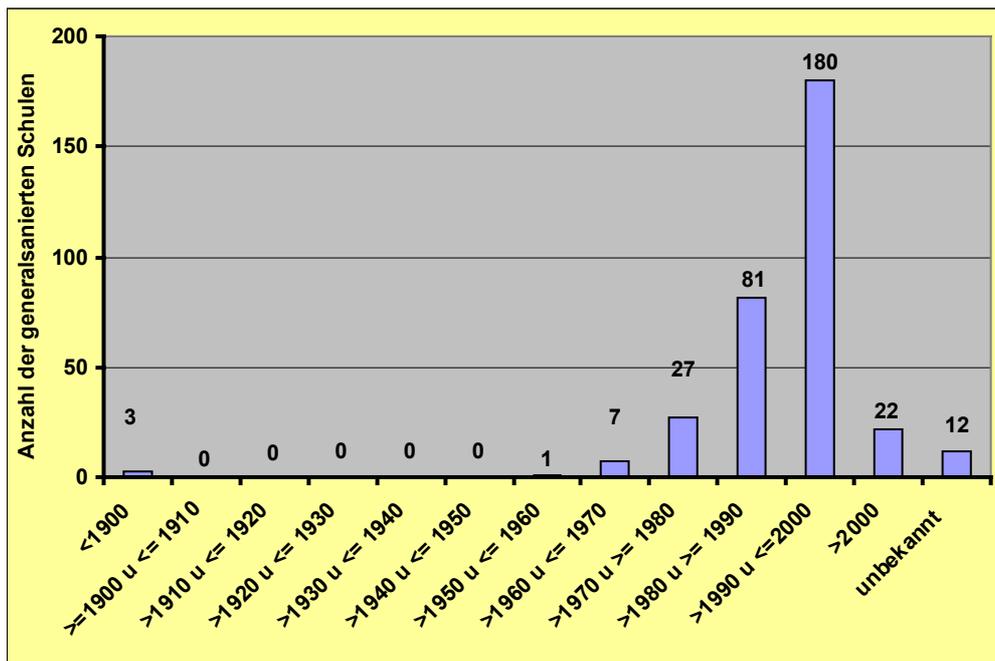


Abb. 3.5: Jahr der Generalsanierung laut Fragebogen

Die Abb. 3.6 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.

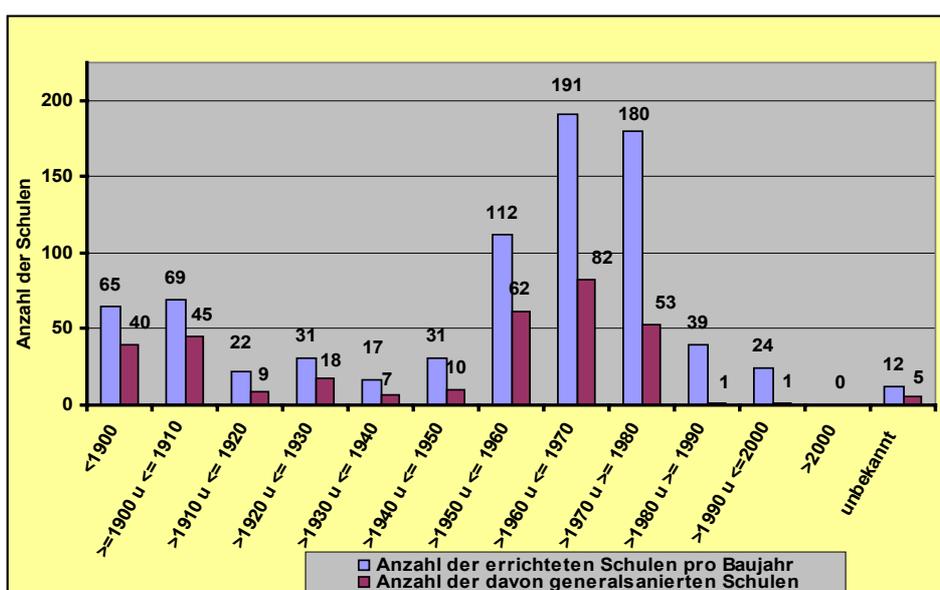


Abb. 3.6: Anzahl errichteter Schulen und davon bereits sanierte

3.3.3 Angaben zu den Räumen

In diesem Teil wurde die Anzahl der jeweiligen Raumtypen (Klassenzimmer, Sonderunterrichtsräume, Turnsäle) erfragt. Weiters wurde gefragt, in welchen Geschossen sich die einzelnen Räume befinden. Diese Fragestellung ist von besonderer Bedeutung, da die Unterkellerung der Räume eines der Auswahlkriterien für die Radonmessungen war.

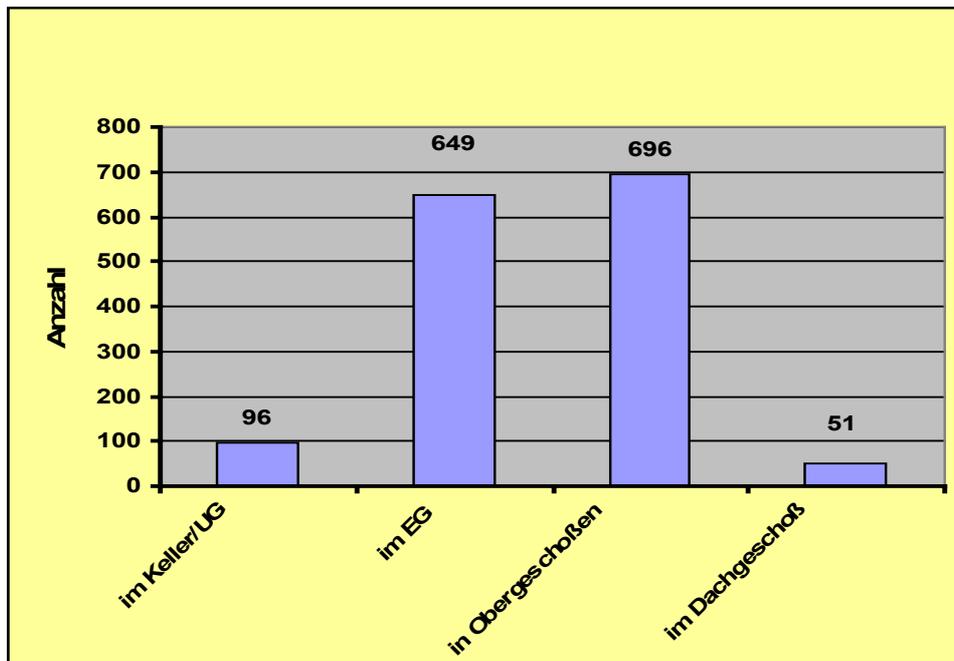


Abb. 3.7: Anzahl der Räume pro Geschöß

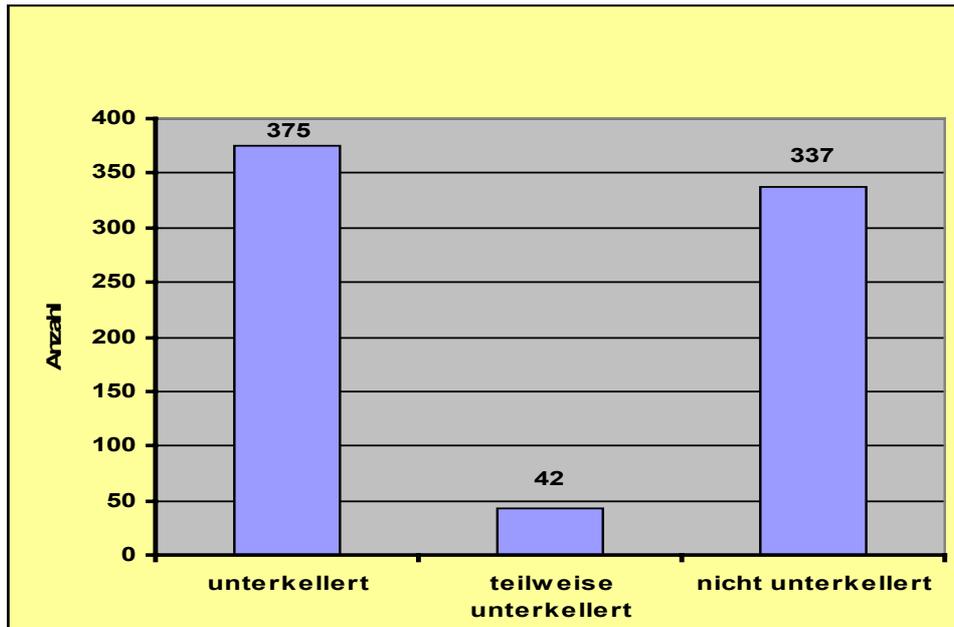


Abb. 3.8: Unterkellerung bei Räumen im Erdgeschoß (Mehrfachnennungen möglich)

3.3.4 Heizung und Raumtemperatur:

In diesem Teil wurde die Art der Heizung (Abb. 3.9), die Art des Brennstoffes (Abb. 3.10), die Art der Fenster, die Art der Verglasung, das Einbaujahr der Fenster und die Dichtheit der Fenster erhoben. Weiters wurde erfragt ob die Schule eine Energiebuchhaltung durchführt und wie hoch die durchschnittlichen Energieverbräuche für Strom und Brennstoff liegen. Auch wurde abgefragt, ob es in der Schule eine Fußbodenheizung oder eine Lüftungstechnische Anlage gibt. Die weiteren Auswertungen sind im Anhang ersichtlich.

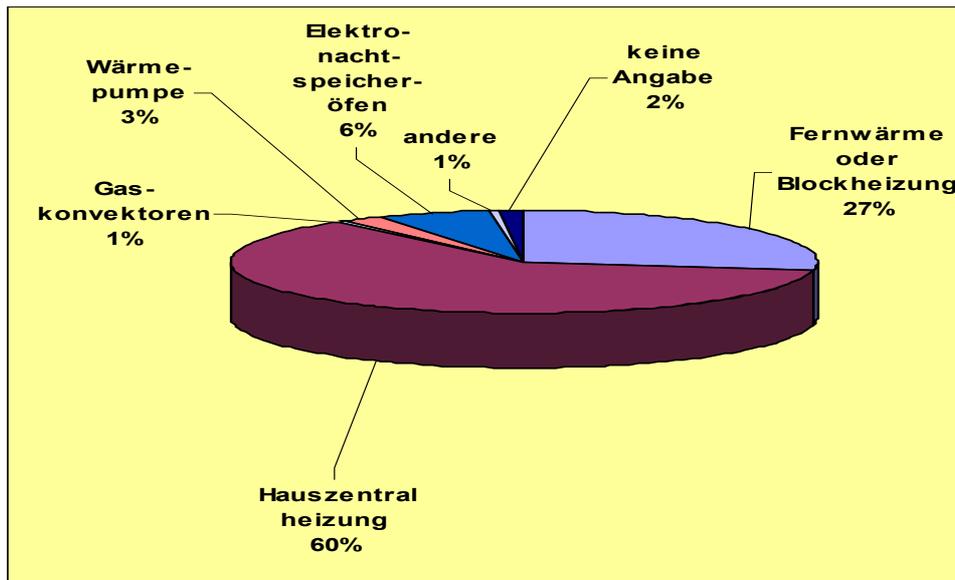


Abb. 3.9: Art der Heizung

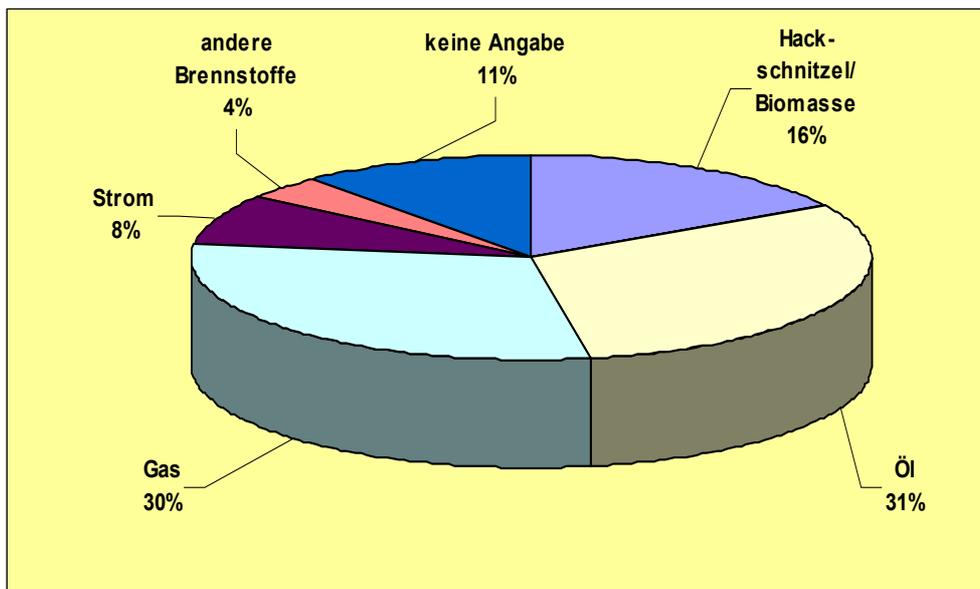


Abb. 3.10: Art des Brennstoffes

3.3.5 Ausstattung der Unterrichtsräume:

Da aus verschiedenen Kunststoffen, Kleber, Holzanstrichen, Lacke etc. Stoffe wie Pentachlorphenol, Lindan, flüchtige organische Verbindungen (VOC), Formaldehyd u.a. austreten können, war die Ausstattung der Unterrichtsräume ein wichtiges Thema. Das Alter der Möbel ist in Verbindung mit dem Material ist ein wesentlicher Punkt in der Abschätzung der Raumluftbelastung bezogen auf den Parameter Formaldehyd, da die Österreichische Formaldehydverordnung seit 1990 gilt. Durch die Arten der Wandbeläge,

Bodenbeläge, die Holzart der Möbel und deren Alter wurden mögliche Raumbelastungen abgeschätzt und eingegrenzt.

Durch die Fragen ob in der Schule chemische bzw. physikalische Versuche durchgeführt werden und wie die dazu verwendeten Chemikalien gelagert werden, konnte eine eventuelle Belastung durch diese Stoffe eingegrenzt werden. Weiters wurde ermittelt, ob natürliche oder künstliche Radionuklide verwendet werden und ob durch die Lagerung der Chemikalien Geruchsbelästigungen auftreten.

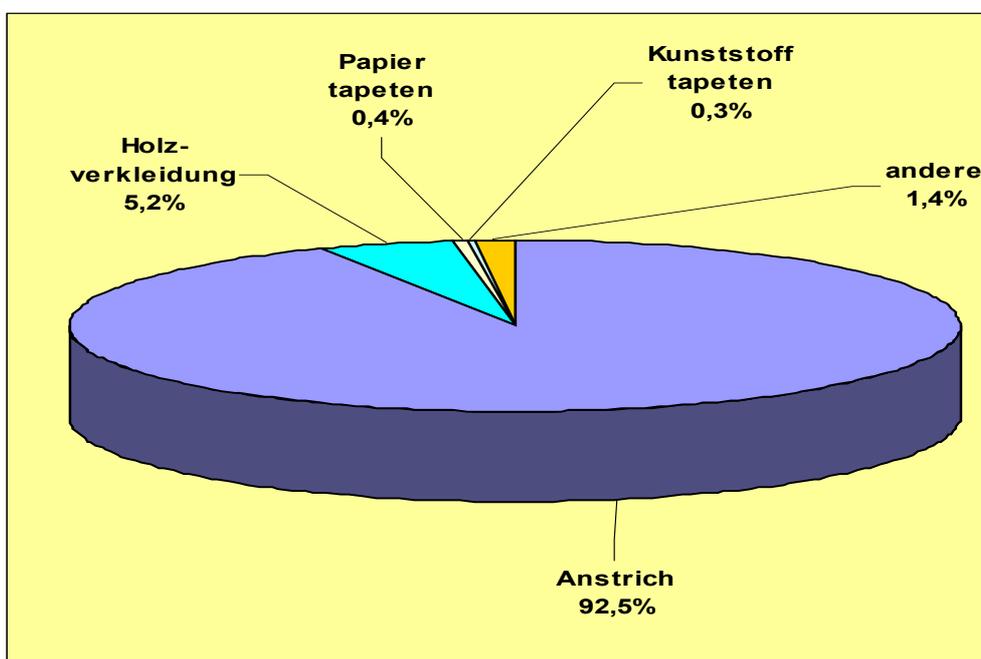


Abb. 3.11: Wandbeläge in Unterrichtsräumen

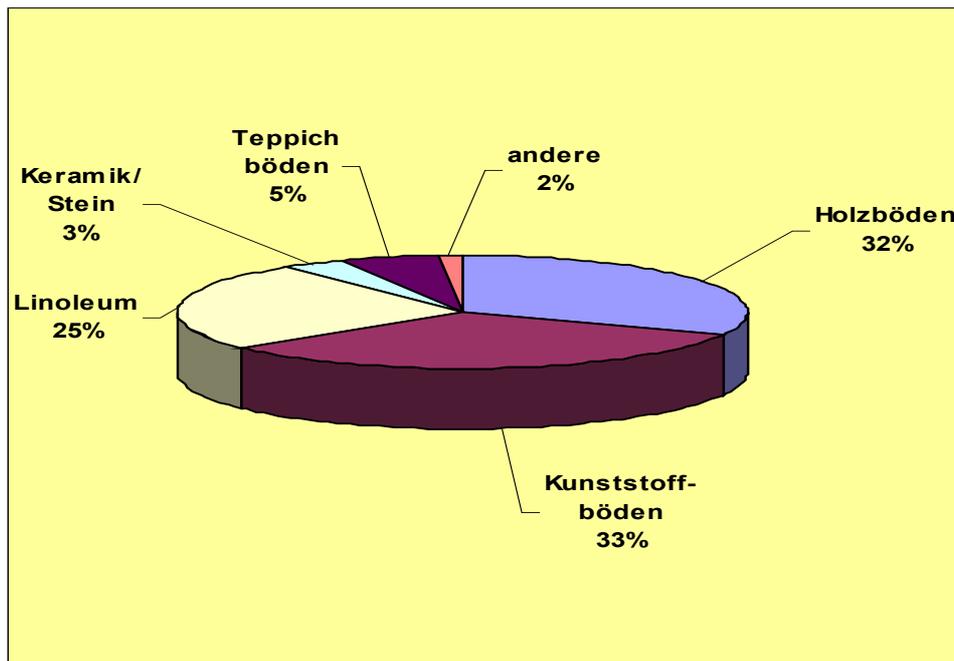


Abb. 3.12: Bodenbeläge in Unterrichtsräumen

3.3.6 Angaben zu Wohlbefinden/Raumklima/Feuchtigkeit

Um gesundheitliche Einflüsse abzuschätzen, wurden bauphysikalische Parameter, wie Akustik der Räume und das Auftreten von Zugerscheinungen, Geruchsbelästigungen, Schimmelbildung und Beeinträchtigungen durch Lärm oder durch das Vorhandensein von nahegelegenen Gewerbebetrieben erfragt. Manche der damit verbundenen Probleme können durch einfache Maßnahmen verringert bzw. behoben werden.

Auf die einzelnen Einflüsse wird in den folgenden Kapiteln dieses Endberichts näher eingegangen.

3.3.7 Ergänzende Bemerkungen:

In dieses Extra-Feld im Fragebogen konnten die Schulleitung bzw. der Schulerhalter allgemeine Bemerkungen eintragen. Häufig wurde der Allgemeinzustand der Schule hier festgehalten oder Zusatzinformationen zu den Antworten vorheriger Fragen gegeben.

In der Anlage 3h sind alle Erhebungsdaten graphisch dargestellt.

3.3.8 Weitere Erhebungen nach der Fragebogenaktion:

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

Die Verknüpfung, Zusammenschau und Bewertung der so erhobenen Daten ergaben, dass in 90 % bis 95 % der teilnehmenden Schulen keine gesundheitlichen Risiken hinsichtlich erheblichem Schimmelbefall, chemischen Innenraumschadstoffen und Radon bestehen. Auf die fachspezifischen Erhebungen, Untersuchungen und Ergebnisse wird in den folgenden Kapiteln dieses Endberichtes näher eingegangen.

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

4 Radon

(Franz J. Maringer, Wolfgang Ringer)

4.1 Motivation

Ein Schwerpunkt bei der Erfassung der Qualität der Innenraumluft in den oberösterreichischen Schulen stellt aufgrund der geologischen Situation des Landes naturgemäß das Radon dar. Eine Anzahl von Klassenzimmern und Sonderunterrichtsräumen in den Schulen Oberösterreichs ist nicht unterkellert. Diese Räume sind durch den Kontakt des Fußbodens - in Hanglagen auch der Wände - mit dem umgebenden Erdreich besonders radongefährdet. Daher ist die Erhebung der Radonsituation in den oberösterreichischen Schulen im Hinblick auf eine gegebenenfalls notwendige bauliche Vorsorge und Sanierung von hoher Wichtigkeit für die Gesundheitsvorsorge der Bevölkerung des Bundeslandes.

Eine umfassende und detaillierte Erhebung und Bewertung der Radonsituation in Schulen hinsichtlich einer Verminderung der Gesundheitsrisiken von Jugendlichen und Personal wurde auch deshalb notwendig, da öffentliche Bauten durch die Förderaktion in Oberösterreich zur Radon-Messung, Radon-Vorsorge und Radon-Sanierung privater Wohneinheiten nicht erfasst sind (Amt der OÖ Landesregierung, 1999). Darüber hinaus bekommt im Zuge der Umsetzung der EU-Strahlenschutzrichtlinie 96/29/EURATOM (Rat der Europäischen Union, 1996; Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz, BGBl. I 146/2002) die Problematik ‚Radon in Arbeitsstätten‘ in unmittelbarer Zukunft aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht eine wesentliche Bedeutung hinsichtlich der in den Schulen tätigen Personen.

4.2 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

Aufbauend auf den Erfahrungen der Radonerhebung in den OÖ Kindergärten (Amt der OÖ Landesregierung, 2001) wurde für die Untersuchung in den OÖ Schulen entschieden, eine messtechnische Teilerhebung der Radonsituation durchzuführen: Es sollten jene Schulen untersucht werden, die

über erdgebundene Klassenräume oder Sonderunterrichtsräume verfügen

und

in einem Radonrisikogebiet (Gemeinde) oder einer Nachbargemeinde eines Radonrisikogebiets entsprechend der OÖ 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** (Tab. 4.1), in denen die Radonaktivitätskonzentration der Raumluft gemessen wurde.

Tab. 4.1: Auswahlkriterien für Radonmessungen in den teilnehmenden Schulen

Auswahlkriterien für Radon					
Schulen	Schulen	Klassen erdgebunden	Klassen erdgebunden ohne durchgehender Fundamentplatte	Klassen und Sonderunterrichtsräume erdgebunden	Klassen und Sonderunterrichtsräume erdgebunden ohne durchgehender Fundamentplatte
ganz OÖ	793	425	354	608	512
Radonrisikogebiet	202	118	97	163	137
Nachbargemeinden vom Radonrisikogebiet	272	134	112	199	164
Nachbargemeinden vom Radonrisikogebiet ohne Linz	228	122	100	175	142

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.

Ebenfalls aufbauend auf den Erfahrungen der Kindergartenstudie wurde für diese Untersuchung entschieden, Langzeitmessungen mit Messperioden von rund drei bis fünf Monaten durchzuführen. In den Messperioden sollte die saisonale Ausgewogenheit (Winter / Sommer) sichergestellt sein. Aus Kapazitätsgründen der beteiligten Messlabors wurden zwei Hauptmessperioden gewählt: Jänner bis Mai 2002 und September bis Dezember 2002.

An Radon-Messmethoden wurden Kernspur-Detektoren (ARC Seibersdorf research GmbH) und Elektret-Detektoren (AGES - Agrarbiologie Linz) eingesetzt.

Die Übersendung der Radon-Detektoren wurde den Schulen mittels E-mail angekündigt. Den Detektoren wurden ein Begleitschreiben, Aufstellanleitungen sowie Formblätter zum

Eintragen der Expositionsdaten (Anlage 4a - 4e) beigelegt. In 44 Schulen wurden zusätzlich zeitgesteuerte Elektretdetektoren verwendet. Damit ist es möglich, die Radonexposition in den untersuchten Unterrichtsräumen während der Schul-Betriebszeiten zu bestimmen.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Langzeitmessungen der Radon-Gesamtexposition

Von den 338 versandten Detektoren in den Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden von Radonrisikogebieten konnten 314 Detektoren (93%) ausgewertet werden. Zwei Kernspurdetektoren wiesen eine zu hohe Kernspurdichte auf, sodass sie nicht ausgewertet werden konnten. Diese Kernspurdichte weist aber auf Radon-Aktivitätskonzentrationen $> 3000 \text{ Bq/m}^3$. Diese beiden Messungen wurden in den Auswertungen mit Werten von 3000 Bq/m^3 berücksichtigt, sodass insgesamt **Ergebnisse von 316 Schulen** verwendet wurden. 25 Detektoren konnten ursprünglich entweder aus technischen Gründen nicht ausgewertet werden oder gingen auf dem Postweg oder in den Schulen selbst verloren, davon wurden 3 Messungen in der 2. Messperiode wiederholt, sodass insgesamt von 22 ursprünglich ausgewählten Schulen keine Messergebnisse vorliegen. Von den 30 Detektoren, die in die außerhalb von Radonrisiko- und Nachbargemeinden liegenden Schulen als Kontrollgruppe verschickt wurden, konnten 28 ausgewertet werden, die restlichen 2 Detektoren gingen verloren.

Die Radon-Messergebnisse sind in der Anlage 4f - einmal sortiert nach dem Radonbeurteilungswert und einmal nach der Schulidentifikationsnummer (SID) - zusammengestellt. In den Abb. 4.1 bis 4.8 sind die Ergebnisse in Form von Summenhäufigkeitsverteilungen in logarithmischer Normalverteilungsskalierung dargestellt. Dabei wurde nach unterschiedlichen Merkmalen der untersuchten Räume bei den Messungen in den Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden von Radonrisikogebieten differenziert. Unterschieden wurden Messungen in Klassenzimmern (121), Sonderunterrichtsräumen (166) und Räumen, die keine Unterrichtsräume sind (29). Zusätzlich wurde unterschieden nach gemessenen Räumen im Erdgeschoss und im Keller. Eine Messung fand im 1. Obergeschoss statt und wurde bei den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt.

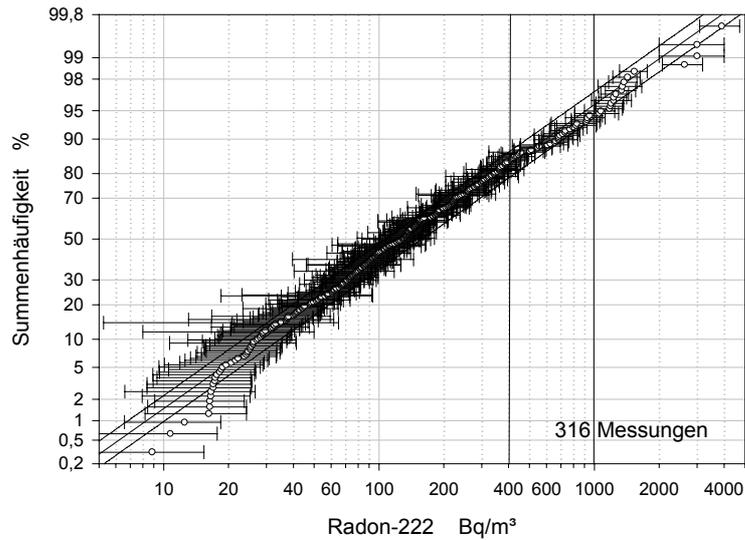


Abb. 4.1: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungsskala; Messpunkte mit Messunsicherheitsbalken) der Radonmesswerte in den erdberührten Räumen der untersuchten Schulen in den Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden der Radonrisikogebiete; Messzeitraum Jän. bis Mai bzw. Sept. bis Dez. 2002

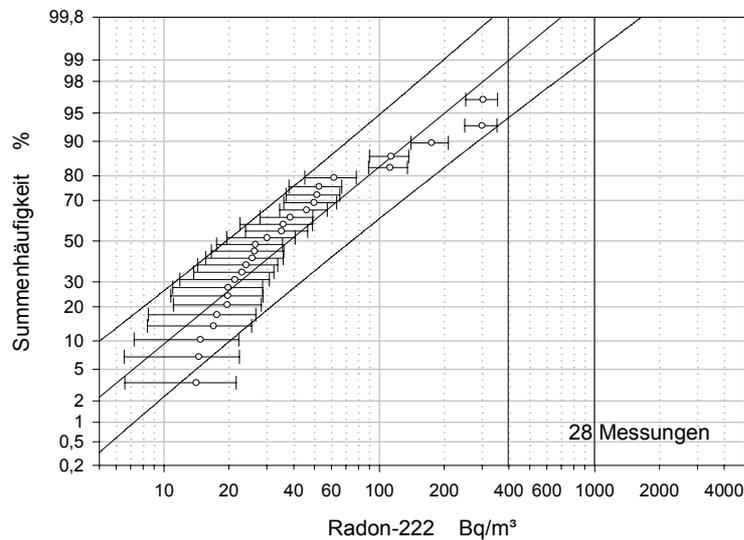


Abb. 4.2: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungsskalierung) der Radonmesswerte in den erdberührten Unterrichtsräumen der untersuchten Kontrollgruppe; Messzeitraum September bis Dezember 2002

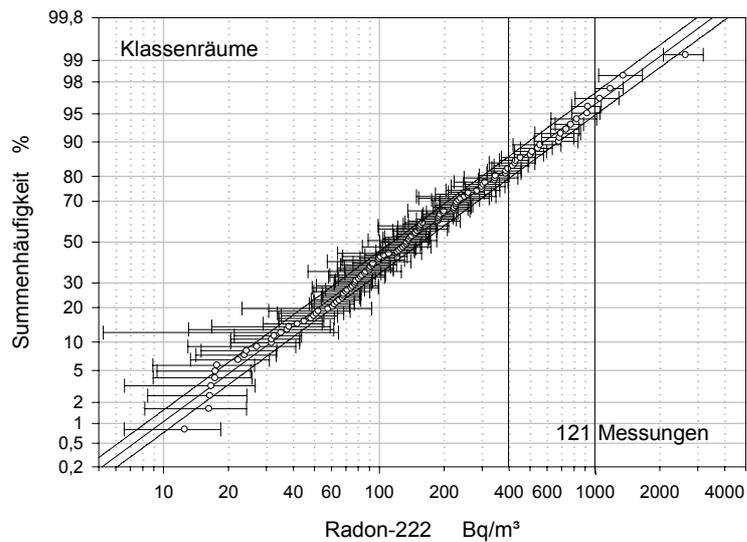


Abb. 4.3: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungs-Skalierung) der Radonmesswerte in den untersuchten, erdberührten Klassenzimmern; Messzeitraum Jänner bis Mai 2002 bzw. September bis Dezember 2002

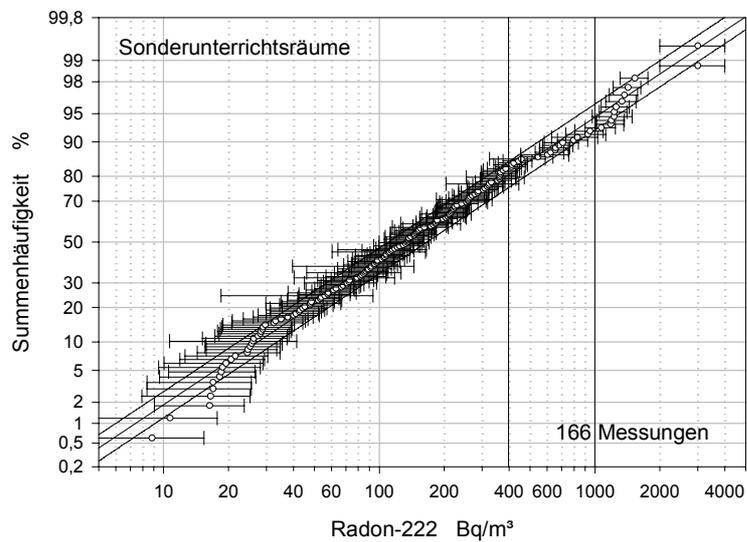


Abb. 4.4: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungs-Skalierung) der Radonmesswerte in den untersuchten, erdberührten Sonderunterrichtsräumen; Messzeitraum Jänner bis Mai 2002 bzw. September bis Dezember 2002

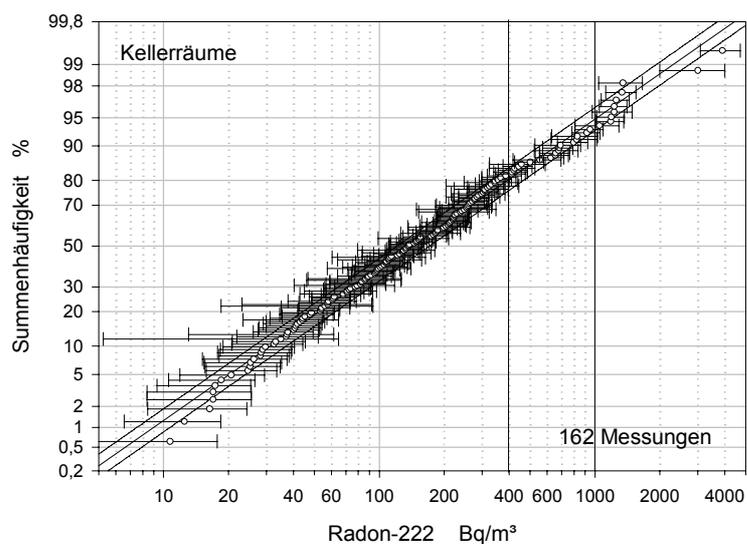


Abb. 4.5: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungs-Skalierung) der Radonmesswerte in den Kellerräumen der untersuchten Schulen; Messzeitraum Jänner bis Mai 2002 bzw. September bis Dezember 2002

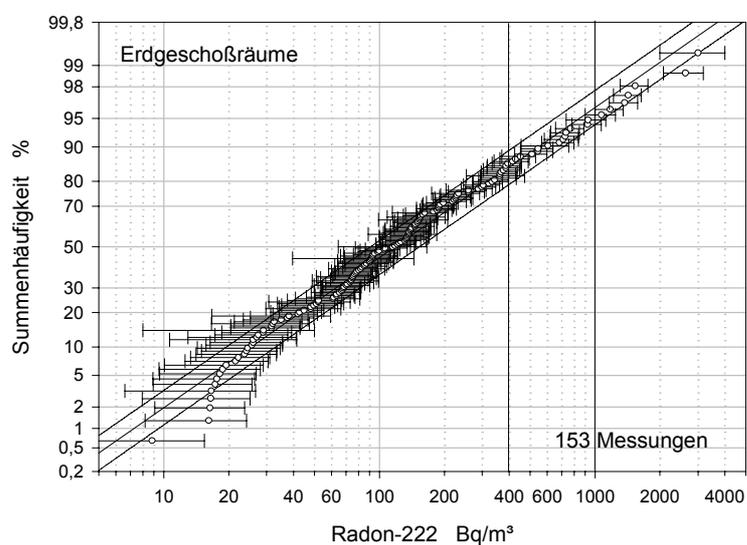


Abb. 4.6: Summenhäufigkeitsverteilung (log-Normal-Verteilungs-Skalierung) der Radonmesswerte in den erdberührten Erdgeschoßräumen der untersuchten Schulen; Messzeitraum Jänner bzw. Mai 2002 und Sept. bis Dez. 2002

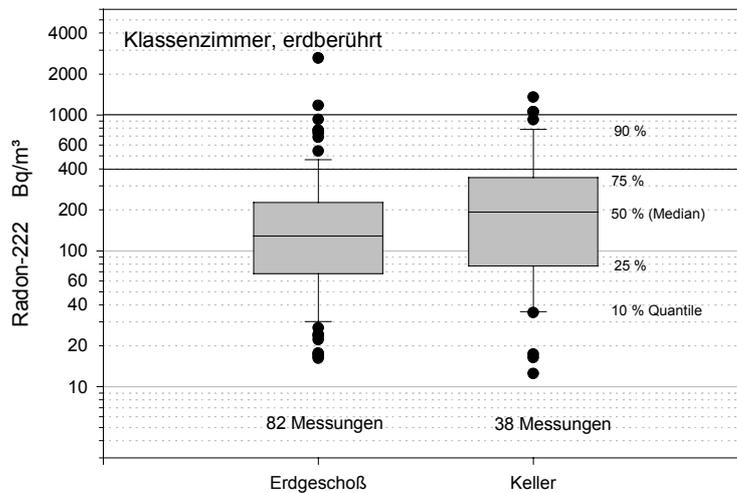


Abb. 4.7: Summenhäufigkeitsverteilung (Box-Plot-Darstellung) der Radonmesswerte in den erdberührten Klassenzimmern im Keller und im Erdgeschoß (Schulen in Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden), Messzeitraum Jänner bis Mai 2002 bzw. September bis Dezember 2002

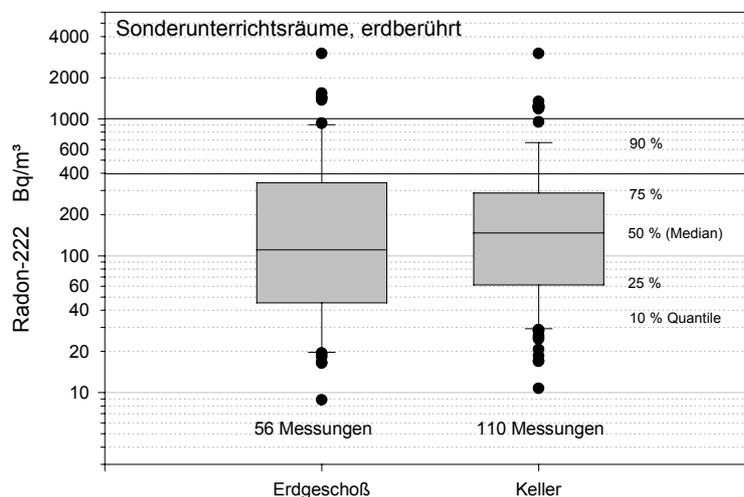


Abb. 4.8: Summenhäufigkeitsverteilung (Box-Plot-Darstellung) der Radonmessungen in den erdberührten Sonderunterrichtsräumen im Keller und im Erdgeschoß (Schulen in Radonrisikogebieten und Nachbargemeinden), Messzeitraum Jänner bis Mai 2002 bzw. September bis Dezember 2002

4.3.2 Zeitgesteuerte Radonmessungen

Die Radonexposition von Personen hängt von der Radonkonzentration und der Zeitdauer, welche die Person dieser Radonkonzentration ausgesetzt ist, ab. Zur Beurteilung der Radonexposition in Gebäuden werden i.a. – unabhängig von der Aufenthaltsdauer der Personen – kontinuierliche Langzeitmessungen durchgeführt. Um die Radonexposition während der Schulzeiten genauer bestimmen zu können, wurden **in 44 Schulen** parallel zu den kontinuierlichen Langzeitmessungen zeitgesteuerte Radonmessungen durchgeführt. Die zeitgesteuerten Messgeräte wurden so eingestellt, dass die durchschnittliche Radonkonzentration während der Schulzeiten gemessen wurde. Im Mittel waren die gemessenen Radonkonzentrationen in den untersuchten 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 (Abb. 4.9).

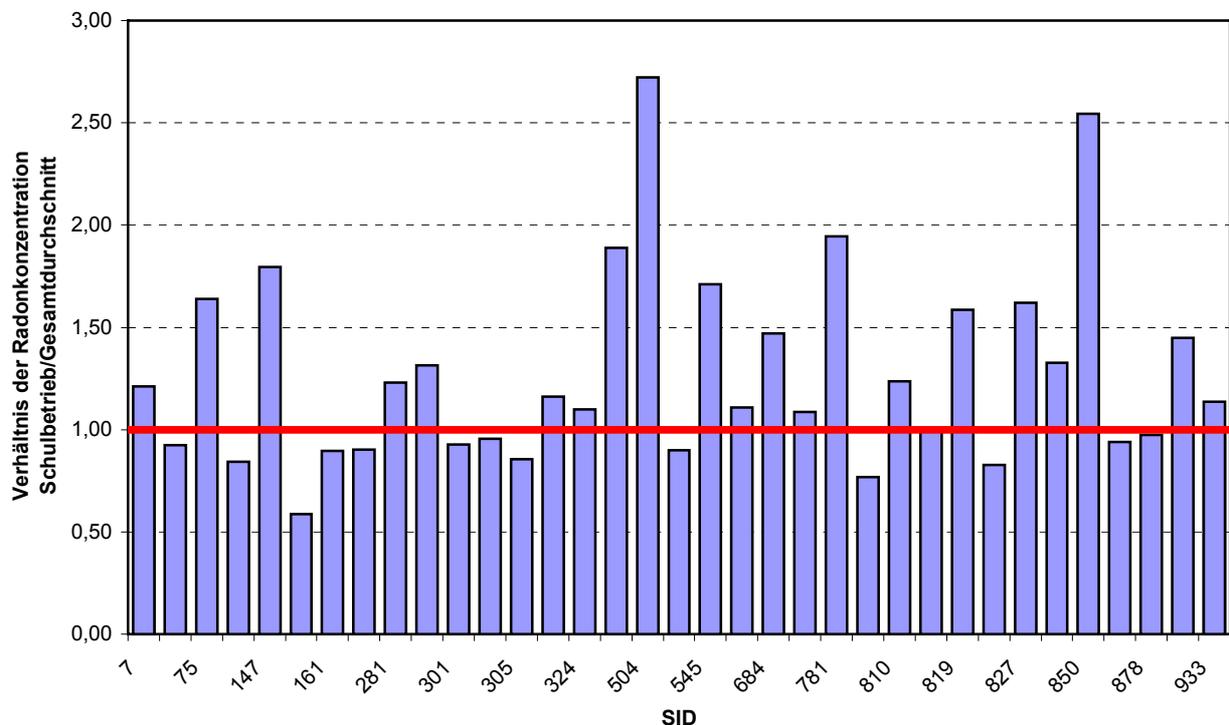


Abb. 4.9: Verhältnis der Radonkonzentration während der Schulzeit zur gesamtdurchschnittlichen Radonkonzentration

Der Hauptgrund für die Streuung liegt im unterschiedlichen Lüftungsverhalten und in den unterschiedlichen Schulzeiten. In der Regel steigt die Radonkonzentration über Nacht. Wird nun am Vormittag wenig gelüftet und ist ausschließlich am Vormittag Schulbetrieb (z.B. Volksschulen), so ist die Radonkonzentration während der Schulzeit höher als bei der kontinuierlichen Messung, insbesondere dann, wenn das Reinigungspersonal am Nachmittag das Gebäude gut durchlüftet. Hingegen ergeben in Schulen mit Ganztags-Betrieb und regelmäßiger Lüftung schon mit Schulbeginn niedrigere Radonkonzentrationen während der Schulzeit im Vergleich zur Gesamtmessung. Schließlich ist zu berücksichtigen, dass bei den kontinuierlichen Gesamtmessungen auch das Wochenende „mitgemessen“ wird. Beim Kindergartenprojekt wurden ähnliche Messungen in 50 Kindergärten durchgeführt; hier ergab sich ein mittleres Verhältnis $\text{Radon}_{\text{Betrieb}} / \text{Radon}_{\text{gesamt}}$ von 0,90 ($0,27 \div 2,03$) (Ringer, 2002).

Die Schlussfolgerung aus diesen Untersuchungen ist, dass kontinuierliche Messungen die Radonkonzentration während der Betriebs-(Schul-)Zeiten *im Mittel* gut widerspiegeln, jedoch in einzelnen Fällen eine Über- oder Unterschätzung um bis zu einem Faktor 2 auftreten kann.

4.4 Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen

4.4.1 Bewertungsgrundlage

Grundlage für die strahlenschutzbezogene Bewertung der Radonmessergebnisse stellt die Empfehlung der Österreichischen Strahlenschutzkommission für die Begrenzung der Radonexposition in Innenräumen, die auf einer entsprechenden EU-Empfehlung (Kommission der EU, 1990) beruht, dar (Strahlenschutzkommission, 1993):

400 Bq/m³ Rn-222-Aktivitätskonzentration im Jahresdurchschnitt (für bestehende Gebäude).

Darüber hinaus wird die strahlenschutzrelevante Grundlage, auf der der Grenzwert der Schweizer Strahlenschutzverordnung für Radon beruht, berücksichtigt:

1000 Bq/m³ Rn-222-Aktivitätskonzentration im Jahresdurchschnitt.

Als weitere international etablierte Bewertungsgrundlage wird die Empfehlung der WHO für Radon in Wohnräumen herangezogen (IAEA, WHO, 1996). Darin wird empfohlen, dass

die nationalen Richtwerte für den Sanierungsbedarf ('optimized action levels') im Bereich von **200 Bq/m³ bis 600 Bq/m³ (Jahresdurchschnittswert)** angesetzt werden sollen. In der selben WHO-Empfehlung wird ein Richt-Grenzwert für die **Radonexposition auf Arbeitsplätzen mit 1000 Bq/m³ (Jahresdurchschnittswert)** empfohlen.

Für den Vergleich der Messwerte mit den Richtwerten wurden die entsprechenden Abschnitte in den ÖNORMEN S 5280-1 (1.6.1998) und S 5250-1 (1.11.2002) herangezogen. Entsprechend diesen Normen gilt ein (oberer) Grenzwert nur dann als nicht überschritten, wenn der Messwert inklusive des 1-Sigma-Messunsicherheitsbereichs unterhalb des Grenzwertes liegt. Mit dem Richtwert verglichen wird daher ein sogenannter '**Radon-222-Beurteilungswert**', der aus dem Radon-222-Messwert plus der 1-Sigma-Gesamtmessunsicherheit ermittelt wird.

4.4.2 Bewertung der Ergebnisse und Sanierungsempfehlungen

Es wurden in insgesamt 64 (das sind knapp 20 % von 316) Schulen in Radonrisikogebieten inkl. Nachbargemeinden Radon-222-Beurteilungswerte über 400 Bq/m³ ermittelt, davon in 39 Schulen über 600 Bq/m³ und davon wiederum in 23 Schulen über 1000 Bq/m³.

Bei der Kontrollgruppe außerhalb der Radonrisikogebiete wurde keine Radon-222-Beurteilungswerte über 400 Bq/m³ gefunden (Abb. 4.2). Entsprechend der Log-Normal-Verteilung der Ergebnisse der Kontrollgruppe (Abb. 4.2) muss jedoch in rund 1,5 % der Fälle (ca. 7 Schulen in ganz OÖ außerhalb der Radonrisikogebiete und Nachbargemeinden) mit Beurteilungswerten oberhalb 400 Bq/m³ gerechnet werden.

Es wird empfohlen,

in den **4 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten über 2000 Bq/m³** durch zusätzliche Radon-Messungen mit aktiven, aufzeichnenden Messgeräten die detaillierte Radonsituation in den betroffenen Räumen festzustellen und anschließend weitere Maßnahmen festzulegen

in den **19 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 1000 Bq/m³ und 2000 Bq/m³** innerhalb von drei Jahren eine Radonsanierung der betroffenen erdgebundene 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

in den **16 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 600 Bq/m³ und 1000 Bq/m³** 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

In den **25 Schulen mit Radon-222-Beurteilungswerten zwischen 400 Bq/m³ und 600 Bq/m³** sollte durch entsprechende Änderung des Nutzungskonzepts 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 Radonsanierungsgesichtspunkt miteinbezogen werden.

5 Chemische Schadstoffe

(Peter Tappler)

5.1 Allgemeines

Das Untersuchungskonzept, die Messmethoden und die Durchführung der Messungen orientierten sich an der von vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften festgelegten allgemeinen Vorgangsweise zur Messung und Beurteilung von Innenraumschadstoffen (BMLFUW, 2003a).

In den Bewertungen der Ergebnisse wurden die Konzentrationen in den Räumen berücksichtigt, die dauernd benutzt werden. Die Konzentration an Schadstoffen in Gängen und in der Außenluft wurde zwar bestimmt und aufgelistet, jedoch nicht im Detail bewertet.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse einmaliger Messungen nur einen Momentanzustand der Konzentrationen von Luftschadstoffen in Innenräumen wiedergeben.

5.2 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

5.2.1 Aldehyde

5.2.1.1 Untersuchungskonzept

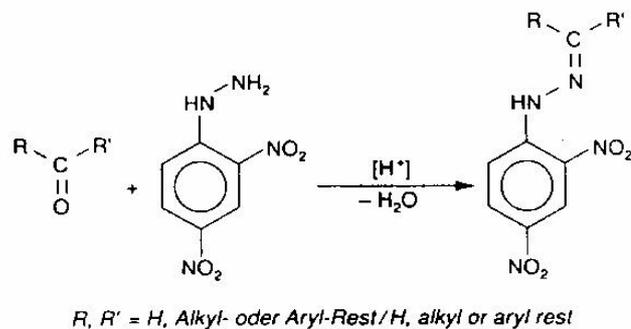
Es wurden aufgrund der Auswertung der Fragebögen in 14 Objekten in je einem Raum die Raumluft auf Aldehyde untersucht. In einem Raum erfolgten Nachmessungen. Die Palette der Aldehyde umfaßte auch die Substanz Formaldehyd, die unter den untersuchten Aldehyden die höchste toxikologische Relevanz für den 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 achtziger Jahre wurden zunehmend formaldehydarme Werkstoffe eingesetzt. Ein weiteres Auswahlkriterium waren die Angaben „dichte und sehr dichte

Fenster“. Es wurde zum Teil telefonisch abgeklärt, ob und in welchen Klassen tatsächlich noch Möbel oder Wandverbauten aus Spanplatten aus der Zeit etwa zwischen 1965 und 1985 vorhanden waren. Weiters wurde eine Schule ausgewählt, in der in einer vorhergegangenen Untersuchung hohe Werte gemessen wurde (Brandl et al. 2001).

5.2.1.2 Messmethoden und Durchführung

Ein definiertes Luftvolumen wurde über spezielle Kartuschen geleitet. Als Adsorptionsmaterial diente mit DNPH beschichtetes angesäuertes Trägermaterial. Die Umsetzung wird durch folgende Reaktionsgleichung wiedergegeben:



Das 2,4-Dinitrophenylhydrazin reagiert im sauren Medium quantitativ mit Carbonylverbindungen - Aldehyden und Ketonen - zu den entsprechenden 2,4 Dinitrophenylhydrazonen. Die Einzelkomponenten wurden nach Elution mit Acetonitril zur Analyse ohne weitere Behandlung direkt in das Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)-Gerät eingespritzt. Die Einzelkomponenten wurden mittels UV-Detektion quantifiziert.

Da davon auszugehen war, dass in einigen Räumen die Hauptquelle des in der Raumluft nachgewiesenen Formaldehyds aus Holzwerkstoffen stammt, wurden die nach Korrektur des Probenahmevolumen auf 20° C und 1013 hPa erzielten Ergebnisse der Messungen auf Formaldehyd mittels der Andersen Formel umgerechnet. In Räumen, in denen frisch renoviert wurde, ist dieser Wert jedoch nicht aussagekräftig, da hier unter Umständen Lacke die Quelle an Formaldehyd sein können.

5.2.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC - Volatile Organic Compounds)

5.2.2.1 Untersuchungskonzept

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurden in insgesamt 49 dauernd benutzten Räumen, in mehreren Nebenräumen sowie in der Außenluft die Luft auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) untersucht. Bei Vorliegen erhöhter Konzentrationen erfolgten Nachmessungen in den betreffenden Räumen.

Es wurden einerseits Schulen zur Untersuchung 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. Weiters wurden die zwei Schulen ausgewählt, in denen in einer vorhergegangenen Untersuchung (Brandl et al., 2001) hohe Werte gemessen wurden.

5.2.2.2 Messmethoden und Durchführung

Ein definiertes Luftvolumen wurde mittels Luftprobenahmepumpe über ein adsorbensgefülltes Röhrchen angereichert.

Die Probenahmestrategie folgte der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6E. Die Probenahme erfolgte, wenn nicht anders angegeben, in Raummitte in einer Höhe zwischen 1,2 und 1,5 m. Die Sammlung der flüchtigen organischen Verbindungen erfolgte durch Adsorption an Tenax TA.

Die Proben wurden nach der Probenahme im Labor in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 16017 Teil 1 und 2 thermisch desorbiert. Die so auf dem Adsorbens fixierten Komponenten wurden im Thermodesorber durch Anlegen einer hohen Temperatur im Helium-Trägerstrom wieder gelöst und anschließend auf einer Kühlfalle fokussiert. Die Substanzen werden über eine beheizbare Kapillare dem Gaschromatographie/Massenspektrometrie-System zugeführt. Im GC/MS-System erfolgte die Trennung und die eigentliche Analyse mit sowohl qualitativer (Auswertung der jeweiligen Massenspektren) als auch quantitativer Auswertung.

Flüchtige organische Verbindungen umfassen laut ECA (1997) organische Verbindungen, die im analytischen Fenster im Eluationsbereich zwischen C₆ (n-Hexan) und C₁₆ (n-Hexadecan) detektierbar sind. Zur Ermittlung der Beurteilungswerte wurde das Probenahmenvolumen auf 20° C und 1013 hPa korrigiert.

Die Summenparameter wurden unter Verwendung der ECA - Definition für die VOC (n-Hexan bis n-Hexadecan) auf folgende Art bestimmt: Es wurden nach gaschromatographischer Trennung die Konzentrationen der einzelnen in diesem Bereich identifizierten Verbindungen unter Verwendung des jeweils für sie gültigen Ansprechfaktors mittels externer Standards ermittelt (Einzelwerte) und aufsummiert (Summe Gruppen und Summe Einzelwerte). Weiters wurde mit Hilfe des Ansprechfaktors einer Referenz (arithmetischer Durchschnitt der Ansprechfaktoren aller standardmäßig erfaßten Verbindungen) der Zahlenwert der „Gesamtsumme VOC“ errechnet.

5.2.3 Pentachlorphenol (PCP), Lindan (gamma HCH)

5.2.3.1 Untersuchungskonzept

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurden 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 den beiden Objekten, in dem erhöhte Messwerte an PCP in der Raumluft eines Raumes gemessen wurden, wurden Materialproben (Holz) zur Untersuchung auf den Gehalt an PCP gezogen und untersucht.

5.2.3.2 Messmethoden und Durchführung

Die Probenahmestrategie folgte der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 4. Die Analytik folgte der VDI-Richtlinie 4301 Blatt 2. Die Sammlung der untersuchten Substanzen erfolgte durch Adsorption an PU-Schaum, wobei ein definiertes Luftvolumen durch zwei nachgeschaltete Polyurethanschäume gesaugt wird. Der zweite nachgeschaltete PU-Schaum diente als Kontrollfraktion und wurde genauso wie der Probenschaum aufgearbeitet. Dadurch

wurden sowohl das an Partikel gebundene als auch das filtergängige PCP bzw. gamma-HCH erfasst.

PCP und gamma-HCH wurden mit einem Lösemittel vom Filter und PU-Schaum extrahiert, PCP durch Umsetzung mit Acetanhydrid zum PCP-Acetat derivatisiert und beide Substanzen einem Gaschromatographie/ Massenspektrometrie-System zugeführt. Im GC/MS-System erfolgte die Trennung und die eigentliche Analyse mit sowohl qualitativer als auch quantitativer Auswertung.

5.2.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

5.2.4.1 Untersuchungskonzept

Aufgrund der Auswertung der Fragebögen wurden in 12 Objekten in je einem Raum die Raumlufte auf polychlorierte Biphenyle (PCB) untersucht. In einem Objekt erfolgten Nachmessungen.

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 achtziger Jahren wurden PCB im Baubereich praktisch nicht mehr eingesetzt.

5.2.4.2 Messmethoden und Durchführung

Die Probenahmestrategie folgte der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 2. Die Sammlung der untersuchten Substanzen erfolgte durch Adsorption an PU-Schaum, wobei ein definiertes Luftvolumen durch zwei nachgeschaltete Polyurethanschäume gesaugt wurde. Der zweite nachgeschaltete PU-Schaum diente als Kontrollfraktion und wurde genauso aufgearbeitet wie der Probenschaum.

Die PU-Schaumköpfe sowie der Glasfaserfilter wurden einer Extraktion mittels Toluol unterzogen. Der eingeeignete Probenextrakt wurde einem Gaschromatographie/ Massenspektrometrie-System zugeführt. Im GC/MS-System erfolgte die Trennung und die eigentliche Analyse mit sowohl qualitativer als auch quantitativer Auswertung.

Aus der Konzentration der Kongenere PCP 28, 52 101, 138, 153 und 180 wurde der Summenwert PCB gesamt nach DIN 51 527 gebildet (Summe der 6 Einzelverbindungen nach dem Ballschmitter-Index, mit dem Faktor 5 multipliziert). Dieser Summenwert dient als Beurteilungswert.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Aldehyde

Die Ergebnisse der Messungen auf Aldehyde sind im Anhang 5 unter den jeweiligen Schulidentifikationsnummern aufgelistet. Die in Hinblick auf das Probenahmenvolumen auf 20° C und 1013 hPa korrigierten Messwerte sowie auf die mittels Andersen – Formel auf durchschnittliche Raumlufbedingungen von 23 °C und 45 % rel Luftfeuchte umgerechneten Messwerte für Formaldehyd, sind in der Abb. 5.1 in ansteigender Konzentration dargestellt.

Das Maximum der Formaldehyd-Messwerte lag bei 0,140 mg/m³, das Minimum bei 0,015 mg/m³. Der arithmetische Mittelwert der Messwerte für Formaldehyd lag bei 0,075 mg/m³, der Median (50-perzentil) bei 0,084 mg/m³. Das Maximum der auf 23°C und 45 % rel Luftfeuchte umgerechneten Messwerte Formaldehyd lag bei 0,146 mg/m³, das Minimum bei 0,018 mg/m³. Der arithmetische Mittelwert der umgerechneten Messwerte für Formaldehyd lag bei 0,064 mg/m³, der Median (50-perzentil) bei 0,060 mg/m³.

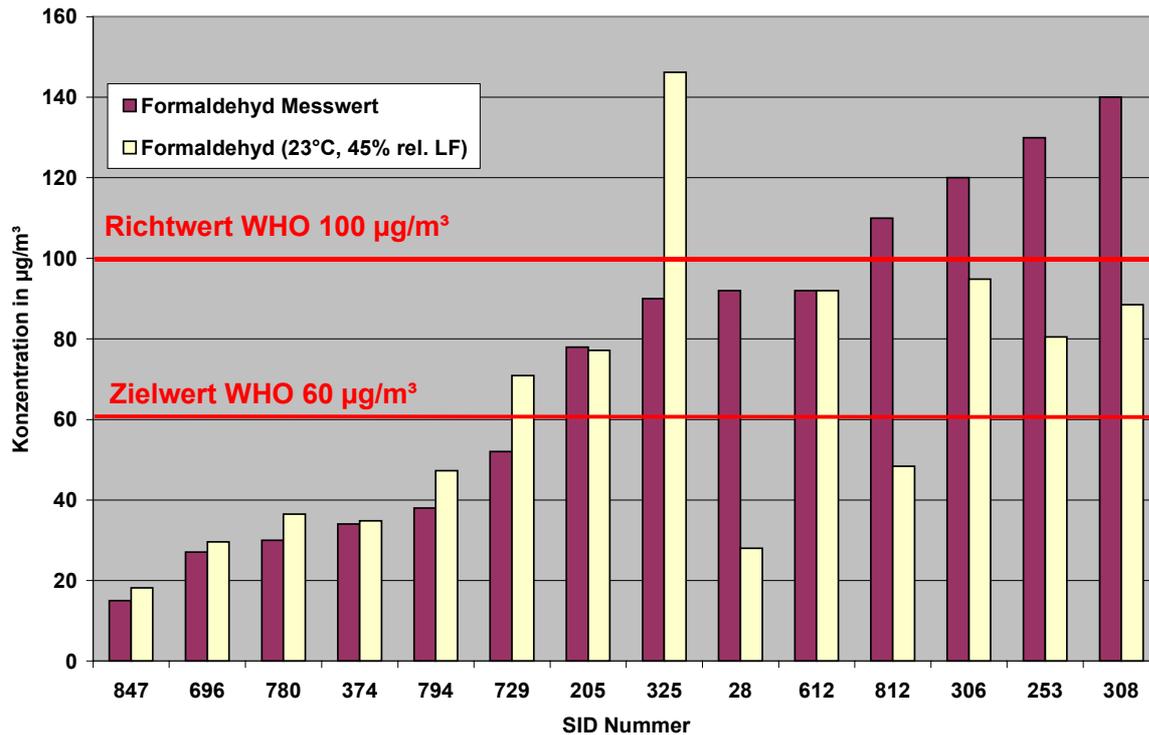


Abb. 5.1: Messwerte und berechnete Werte Formaldehyd – Raumluft

5.3.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC - Volatile Organic Compounds)

Die Ergebnisse der Messungen auf flüchtige organischen Verbindungen (VOC) sind im Anhang 5 unter den jeweiligen Identifikationsnummern sowie summarisch in nachfolgender Tab. 5.1 dargestellt (Mittelwert der Beurteilungswerte für die einzelnen Verbindungen). Die entsprechenden Werte für zwei der wichtigsten Summenparameter für VOC (Gesamtsumme VOC und Summe Aromaten) sind ebenfalls in der Tab. 5.1 enthalten. Die jeweiligen Konzentrationen dieser Summenparameter sind in den folgenden Abbildungen 5.2 und 5.3 in ansteigender Konzentration dargestellt.

Tab. 5.1: Arithmetische Mittelwerte der Konzentrationen der Einzelsubstanzen (VOC) aller untersuchten Räume und der Summenparameter

Komponente	Konz.[µg/m³]	Komponente	Konz.[µg/m³]
Alkane und Cycloalkane		Chlorierte Substanzen	
Cyclohexan	9,6	Tetrachlorethen	0,4
Heptan	5,3	Chlorbenzol	0,1
Cyclohexan,methyl-	2,4		
Octan	2,1	Summe Chlorierte Substanzen	0,6
Nonan	6,0	Aldehyde	
Decan	12,5	Pentanal	4,3
Heptan,2.2.4.4.6-pentamethyl-	1,0	Hexanal	14,4
Undecan	9,4	Heptanal	2,8
Dodecan	2,9	Octanal	4,1
Tridecan	1,8	Nonanal	9,0
Tetradecan	2,2	Decanal	5,2
Pentadecan	1,9		
Hexadecan	1,9	Summe Aldehyde	39,8
		Alkohole	
Summe Alkane und Cycloalkane	59,0	1-Butanol	24,1
Alkene		2-Propanol,1-methoxy-	10,9
1-Penten,2.4.4-trimethyl-	0,6	1-Hexanol,2-ethyl-	12,0
2-Penten,2.4.4-trimethyl-	0,1		
Cyclohexen,1-phenyl-	0,0	Summe Alkohole	47,1
		Ester und -ether	
Summe Alkene	0,7	Essigsäure,ethylester-	14,4
Aromaten		Essigsäure,1-methylethylester-	0,5
Benzol	2,8	Essigsäure,isobutylester-	3,6
Toluol	15,7	Essigsäure,butylester-	12,9
Benzol,ethyl-	4,5	Essigsäure,methoxypropylester- (MPA)	5,9
m+p-Xylol	7,3	Texanol,isobutytrat- (TXIB)	3,9
o-Xylol	3,6		
Styrol	3,9	Summe Glykolester und -ether	41,3
Benzol,propyl-	1,3	Ketone	
Toluol,3-ethyl-	2,8	2-Pentanon,4-methyl-	1,3
Benzol,1.3.5-trimethyl-	1,9	Cyclohexanon	1,9
Toluol,2-ethyl-	1,8	Acetophenon	1,5
Benzol,1.2.4-trimethyl-	5,0	Benzophenon	0,5
Benzol,1.2.3-trimethyl-	2,0		
		Summe Ketone	5,1
Summe Aromaten	52,6	Sonstige Substanzen	
Terpene		Furan,tetrahydro-	1,3
alpha-Pinen	7,5	Tetracyclosiloxan,octamethyl-	0,8
beta-Pinen	1,7	Pentacyclosiloxan,decamethyl-	8,5
Caren	1,8		
Limonen	17,5	Summe Sonstige Substanzen	10,6
		Summe VOC Identifiziert	
Summe Terpene	28,4	Gesamtsumme VOC	
			285
			730

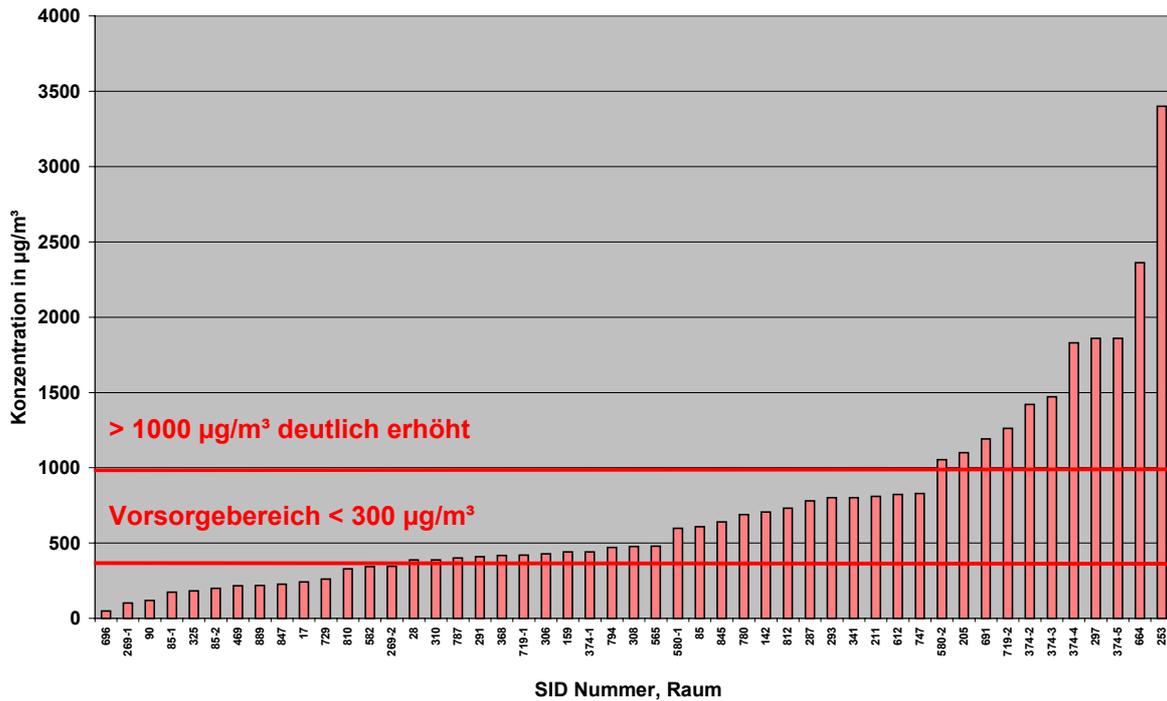


Abb. 5.2: Beurteilungswerte Gesamtsumme VOC - Raumluft

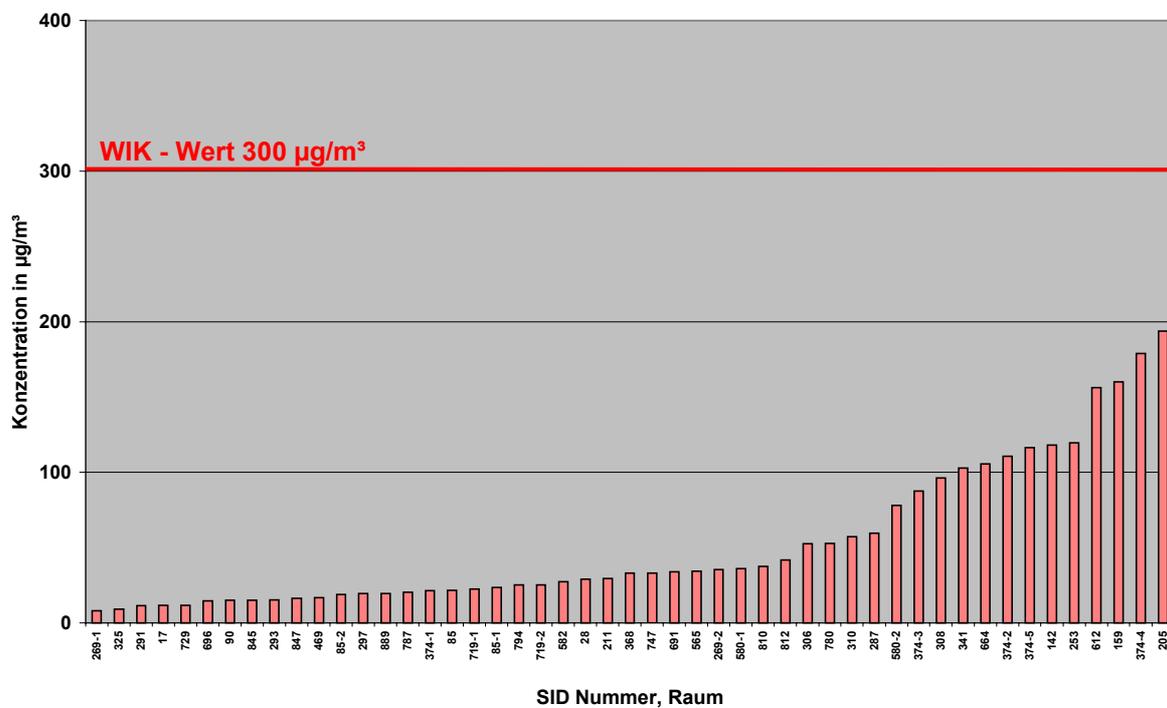


Abb. 5.3: Beurteilungswerte Summe Aromaten - Raumluft

5.3.3 Pentachlorphenol (PCP), Lindan

Die in Hinblick auf das Probenahmevolumen auf 20° C und 1013 hPa korrigierten Messwerte für Pentachlorphenol und Lindan, die als Beurteilungswerte herangezogen wurden, sind in untenstehenden Abb.en 5.4 dargestellt sowie im Anhang 5 unter den jeweiligen Schulidentifikationsnummern aufgelistet.

In zwei Objekten ergaben sich Raumlufkonzentrationen an PCP von über 1 µg/m³, in einem Objekt Werte zwischen 0,1 und 1 µg/m³. Alle anderen Meßwerte lagen unter 0,1 µg/m³. Die Raumlufkonzentrationen an Lindan lagen in allen untersuchten Räumen unter 0,1 µg/m³.

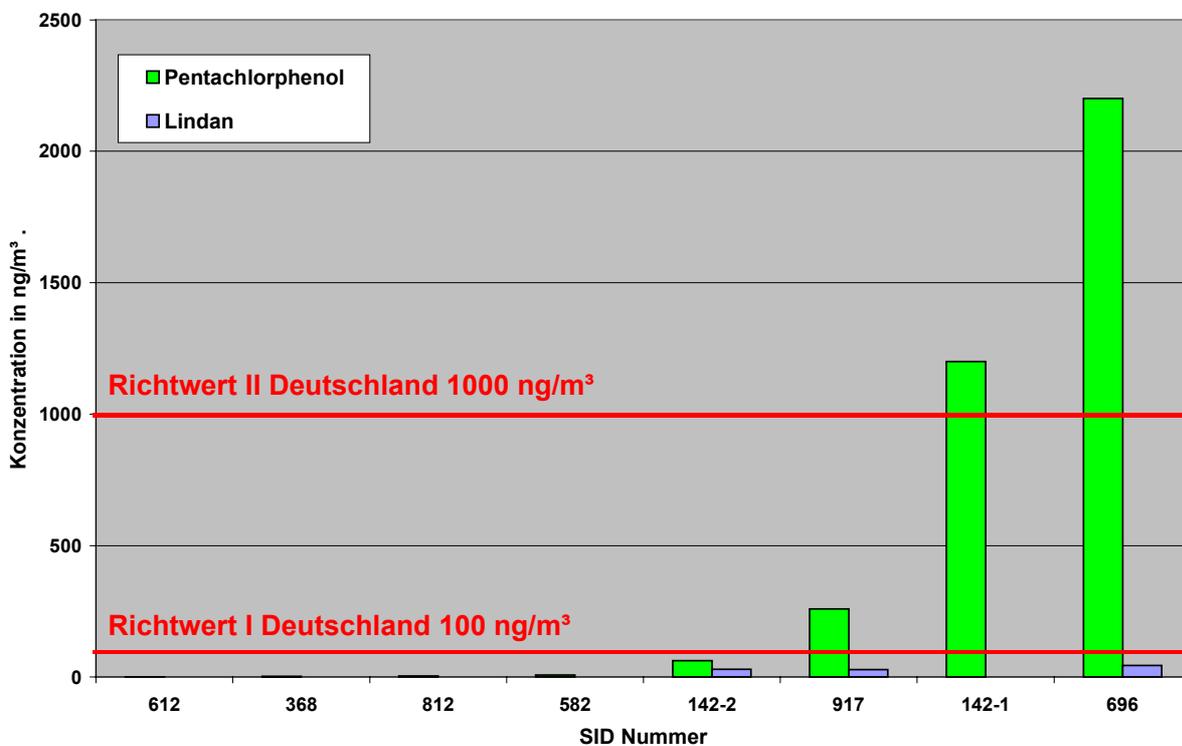


Abb. 5.4: Beurteilungswerte für PCP - Raumluf

Die Konzentrationen an PCP in den untersuchten Holzproben sind im Anhang 5 unter den jeweiligen Schulidentifikationsnummern aufgelistet.

5.3.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die in Hinblick auf das Probenahmenvolumen auf 20° C und 1013 hPa korrigierten Summenwerte PCB gesamt nach DIN 51 527, die als Beurteilungswerte herangezogen wurden, sind in nachfolgender Abb. 5.5 dargestellt sowie im Anhang 5 unter den jeweiligen Schulidentifikationsnummern aufgelistet.

Alle Beurteilungswerte (PCB gesamt) lagen unter 300 ng/m³.

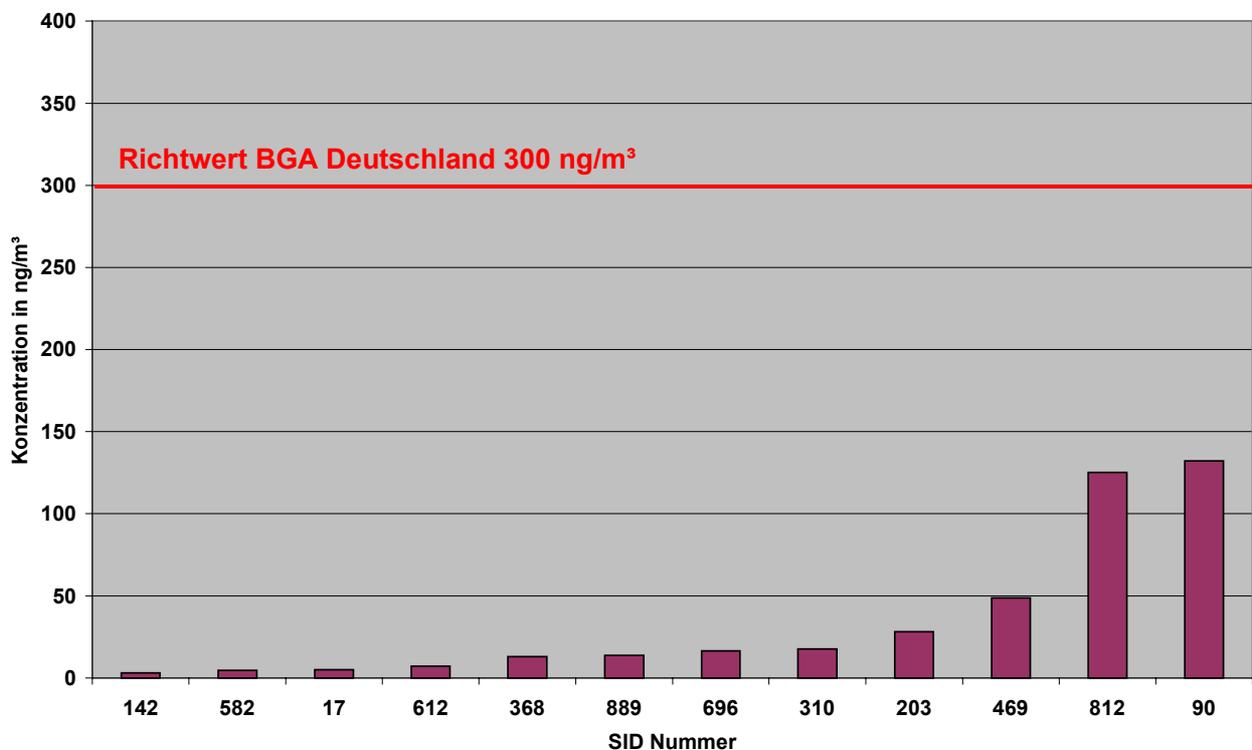


Abb. 5.5: Beurteilungswerte für PCB gesamt nach DIN 51 527 - Raumluft

5.4 Bewertung der Ergebnisse, Empfehlungen und Maßnahmen

5.4.1 Allgemeines

Grenzwerte für Schadstoffe in der Luft von Innenräumen sind in Österreich generell nicht vorhanden. Die Bewertung der untersuchten Schadstoffe wird in Anlehnung an die allgemeine Vorgangsweise zur Messung und Beurteilung von Innenraumschadstoffen (BMLFUW, 2003a,b) durchgeführt. In dieser werden wirkungsbezogene Innenraum-Richtwerte (WIR) festgelegt, deren Überschreitung zu Handlungsbedarf führt.

Der Begriff „Innenraum“ wird im allgemeinen Teil der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW, 2003a) definiert.

MAK-Werte laut Grenzwertverordnung (2001) dürfen für Bereiche wie z.B. Unterrichtsräume von Schulen weder für Schüler noch für das Lehrpersonal angewendet werden, da sie nur für Arbeitsräume, in denen die entsprechenden Substanzen als Arbeitsstoffe eingesetzt werden, gültig sind.

Zusätzlich zu den in Österreich vorhandenen WIR werden internationale Bewertungskriterien angewandt. Eine mögliche Vorgangsweise zur Entwicklung von Richtwerten in der Innenraumluft wurde im deutschen Bundesgesundheitsblatt vorgestellt. Im Basisschema werden zwei Richtwerte für die Konzentration an Luftinhaltsstoffen in der Raumluft festgelegt (Ad-hoc-Arbeitsgruppe, 1996).

Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach dem heutigen Stand des Wissens auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung des Richtwertes I ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Es wird gefordert, dass in Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, diese Werte nicht überschritten werden sollen. Bei geruchsintensiven Stoffen muß der Richtwert I abweichend vom Basisschema auf der Grundlage der Geruchswahrnehmung (Detektionsschwelle) festgelegt werden, wenn sich dadurch ein kleinerer Zahlenwert für den Richtwert I ergibt.

Richtwert II ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen. Bei Überschreitung des Richtwertes II wäre ein Aufenthalt nur vorübergehend zumutbar.

Aus Vorsorgegründen besteht auch im Bereich zwischen Richtwert I und II Handlungsbedarf. Richtwert I sollte nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.

5.4.2 Aldehyde

5.4.2.1 Allgemeines zur Beurteilung

Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich unter Umständen stark auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst.

Unter der Voraussetzung, dass die Hauptquelle(n) des in der Raumluft nachgewiesenen Formaldehyds Holzwerkstoffe im untersuchten Raum selbst sind, ist daher eine Umrechnung der Messwerte auf durchschnittliche Raumluftbedingungen (dies sind 23° C, 45 % rel. Luftfeuchte) mittels der Andersen Formel und eine Beurteilung dieser Ergebnisse sinnvoll. Die gemessene Konzentration wird in den Fällen zur Beurteilung herangezogen, in denen während der Probenahme repräsentative Verhältnisse geherrscht haben. Der auf durchschnittliche Raumluftbedingungen berechnete Wert wird gegebenenfalls auch beurteilt und kann zusätzlich Entscheidungen über die zu treffenden Maßnahmen erleichtern (Kommission Innenraumlufthygiene des BGA, 1993).

5.4.2.2 Beurteilungsgrundlagen für Formaldehyd in der Raumluft

Ein Grenzwert für Formaldehyd in der Luft von Innenräumen ist in Österreich nicht vorhanden. Es existiert jedoch eine Anzahl von Richtwerten.

Tab. 5.2: Richtwerte für Formaldehyd

Formaldehyd	Raumluftkonzentration		Bemerkungen
	[ppm]	[mg/m ³]	
Produktsicherheitsbeirat, BM für Familie, Jugend und Konsumentenschutz	0,1	0,12	Grenzwertempfehlung für Innenräume, die nicht als Arbeitsplatz dienen
Bundesgesundheitsamt Deutschland	0,1	0,12	Richtwert auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten
Weltgesundheitsorganisation WHO	0,083	0,1	30 Minuten Richtwert aus Air Quality Guideline
	0,05	0,06	level of no concern
WIK – wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration der Österreichischen Akademie der Wissenschaften	0,04	0,05	Grenzkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit, auch für besonders empfindliche Gruppen

Im folgenden werden die einzelnen Richtwerte erklärt.

Grenzwertempfehlung Produktsicherheitsbeirat

Der Produktsicherheitsbeirat des Bundesministeriums für Familie, Jugend und Konsumentenschutz hat in Vollziehung des Produktsicherheitsgesetzes 1985 einen Grenzwert für Innenräume, die nicht als Arbeitsplätze dienen, von 0,1 ppm Formaldehyd in der Raumlufte empfohlen (Produktsicherheitsbeirat, 1985).

Richtwert Bundesgesundheitsamt (BRD):

Das Bundesgesundheitsamt Berlin hat 1977 und 1984 einen Richtwert von 0,1 ppm für maximale Immissionskonzentrationen in Innenräumen empfohlen, der auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten ist. Dieser Wert dient in vielen Fällen als Interventionswert (Bundesgesundheitsamt, 1977).

Richtwerte Weltgesundheitsorganisation (WHO):

Die Weltgesundheitsorganisation legte in den aktuellen Air Quality Guidelines for Europe einen Richtwert von 0,1 mg/m³ = 0,083 ppm als Halbstundenmittelwert fest (WHO, 1998). Eine ältere Publikation der WHO definierte einen „level of no concern“ von 0,06 mg/m³ = 0,05 ppm, unter dem Gesundheitsschäden unwahrscheinlich sind (WHO, 1983).

WIK Österreichische Akademie der Wissenschaften

Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIKs) bilden eine Basis um die menschliche Gesundheit, auch für besonders empfindliche Gruppen, vor schädlichen Einflüssen zu schützen und Beeinflussungen für Gesundheit und Wohlbefinden nach dem

derzeitigen Stand des Wissens zu vermeiden. Obwohl direkte Beweise für den Einfluss von Formaldehyd auf die Krebsentstehung beim Menschen fehlen, erscheint es der Akademie der Wissenschaften plausibel, den aus Tierversuchen belegten NOEL (no observed effect level) von 2 ppm auch auf den Menschen zu übertragen. Bei Einhaltung der Immissionsgrenzkonzentration von 0,04 ppm ist insbesondere aufgrund der neueren Modelle anzunehmen, dass auch Krebserkrankungen bei Langzeiteinwirkung vermieden werden (Akademie der Wissenschaften, 1997).

Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich unter Umständen stark auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Unter der Voraussetzung, dass die Hauptquelle(n) des in der Raumluft nachgewiesenen Formaldehyds Holzwerkstoffe im untersuchten Raum selbst sind, ist daher eine Umrechnung der Messwerte auf durchschnittliche Raumluftbedingungen (dies sind 23° C, 45% rel. Luftfeuchte) und eine Beurteilung dieser Ergebnisse sinnvoll (Kommission Innenraumlufthygiene des BGA, 1993).

5.4.2.3 Beurteilungsgrundlagen für Acetaldehyd und weitere Aldehyde in der Raumluft

Für die Substanz Acetaldehyd wurde eine Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration (WIK) von 0,10 mg/m³ festgelegt, die auch für den Innenbereich gilt (Akademie der Wissenschaften, 1997).

Für die weiteren untersuchten Aldehyde sind keine Bewertungsgrundlagen für Innenräume bekannt.

5.4.2.4 Bewertung

In 4 von 14 untersuchten Räumen lag der Messwert für Formaldehyd in der Raumluft über dem WHO-Richtwert von 0,1 mg/m³, in 2 untersuchten Räumen über dem Richtwert der Österreichischen Produktsicherheitskommission von 0,12 mg/m³, alle anderen Beurteilungswerte unterschritten diese Werte. Es ist allerdings anzumerken, dass die hohen Werte bei hohen Raumtemperaturen und geschlossenen Fenstern im Sommer

ermittelt wurden. In 6 Räumen wurde der Vorsorgewert von 0,06 mg/m³ (level of no concern – WHO) unterschritten.

Der Beurteilungswert für Formaldehyd in der Raumluft (Messwert umgerechnet auf 23 °C, 45 % rel. Luftfeuchte), der jedoch nicht für alle Messstellen eine sinnvolle Aussage liefert, überschritt in einem der 14 untersuchten Räume den WHO-Richtwert von 0,1 mg/m³. 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 von Acetaldehyd unterschritt in allen untersuchten Räumen den WIK-Wert der Akademie der Wissenschaften von 0,10 mg/m³. Die Konzentration der anderen untersuchten Aldehyde lag in allen untersuchten Räumen im durchschnittlichen Bereich.

5.4.2.5 Empfehlung und Maßnahmen

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.

5.4.3 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

5.4.3.1 Bewertungsgrundlagen

Durchschnittliche Innenraumkonzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen ergeben sich aus der Literatur (Krause et al., 1991, Schleibinger et al. 2001, Hutter et al. 2002).

Für Tetrachlorethen (PER) existiert in Österreich ein Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) von 250 µg/m³ (BMLFUW, 2003 c). Für Styrol wurde ein

Richtwert (WIR) in der Höhe von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ formuliert. Bei Unterschreiten des Wertes von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer Kurzzeitmessung wird davon ausgegangen, dass auch der WIR unterschritten ist (BMLFUW, 2003 d). Für die Substanzen Toluol und Xylol wurden Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) festgelegt, die auch für den Innenbereich gelten (Akademie der Wissenschaften, 1997).

Es existieren international mehrere Vorschläge zur Bewertung von VOC-Gemischen, wobei nicht in allen Fällen eine detaillierte Methodik als Grundlage der Bewertung angegeben wurde. Aus kontrollierten Wirkungsstudien mit VOC-Gemischen definierter Zusammensetzung kann jedoch geschlossen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender Gesamtkonzentration des Gemisches, ausgedrückt als VOC-Gesamtkonzentration, zunimmt.

Wegen der Variabilität der Zusammensetzung des VOC-Spektrums und der daraus resultierenden Vielfalt möglicher Wirkungsendpunkte lassen sich jedoch keine abgesicherten Dosis-Wirkungs-Beziehungen angeben. Aufgrund der beschriebenen Einschränkungen der Aussagekraft eines Summenparameters VOC werden in der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft keine Richt-, sondern lediglich Orientierungswerte angegeben (BMLFUW, 2003 e). Konzentrationen im Bereich unter etwa $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ sind als niedrig zu bezeichnen. Konzentrationen zwischen etwa $0,3$ und $0,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ sind durchschnittlich. Der geringfügig erhöhte Bereich liegt zwischen etwa $0,7$ und $1 \text{ mg}/\text{m}^3$. Konzentrationen zwischen etwa 1 und $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ sind als deutlich erhöht zu bezeichnen. Summenkonzentrationen an VOC über etwa $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ werden als stark erhöht bewertet. Mit steigender Konzentration nimmt auch die Wahrscheinlichkeit zu, dass sich spezifische Quellen an VOC in den jeweiligen Innenräumen befinden.

Für Toluol liegt der deutsche Richtwert I bei $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$, der Richtwert II bei $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Sagunski, 1996), für Styrol liegt der deutsche Richtwert I bei $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$, der Richtwert II bei $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Sagunski, 1998).

In einer Publikation des deutschen Umweltbundesamtes (Seifert 1999) wurden für die Summe flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC – Total Volatile Organic Compounds) Bewertungsmaßstäbe angegeben. Der Wert, der in dauernd benutzten Räumen nicht

überschritten werden sollte, beträgt 1 – 3 mg/m³, Konzentrationen von 10 – 25 mg/m³ wären allenfalls vorübergehend zumutbar. Der Bereich von 0,2 – 0,3 mg/m³ ist als hygienischer Vorsorgebereich zu verstehen. Dieser Wert hat jedoch keinen toxikologischen Hintergrund, sondern spiegelt den Konzentrationsbereich wieder, der bei Verwendung emissionsarmer Materialien erreicht werden kann.

Tab. 5.3: Richtwerte für ausgewählte flüchtige organische Verbindungen

	Raumluftkonzentration [mg/m ³]	Bemerkungen
Styrol		
WIR – wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (BMLFUW 2003 d)	0,040 0,010	7-Tages Mittelwert 0,5 h Mittelwert, bei Unterschreitung keine 7-Tages Messung nötig
Sagunski (Ad Hoc Kommission) (1998)	0,030 0,030 – 0,300 0,300	Richtwert I: bei Unterschreitung keine Gefährdung Zwischenbereich: über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Tetrachlorethen (TCE, PER)		
WIR – wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (BMLFUW 2003 c)	0,250	7-Tages Mittelwert
2. VO zum Bundesimmissionschutzgesetz Deutschland (1990)	0,1	Grenzwert für Innenräume in Deutschland, 7-Tages Mittelwert
Toluol (zum Teil auch Summe Aromaten)		
Akademie der Wissenschaften (1997)	0,30	WKI - Tagesmittelwert
Sagunski (Ad Hoc Kommission) (1996), auch für Summe Aromaten anwendbar	0,3 0,3 – 3 3	Richtwert I: bei Unterschreitung keine Gefährdung Zwischenbereich: über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Xylole		
Akademie der Wissenschaften (1997)	0,35	WKI - Tagesmittelwert

Tab. 5.4: Richtwerte für Klassen von VOC

Substanzklasse	Richtwert Schleibinger et al. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Zielwert Schleibinger et al. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Zielwert Seifert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Summe Alkane	200	50	100
Summe Aromaten	200	50	50
Summe Terpene und Sesquiterpene	150	40	30
Summe Chlorierte Kohlenwasserstoffe	20	5	30 (Halogenierte KW)
Summe Aldehyde	120	50	20 (Aldehyde/ Ketone)
Summe Ketone	50	20	
Summe Glykolester und -ether	100	20	20 (Ester)
Summe Ester einwertiger Alkoh.	50	20	
Summe Alkene	10	5	
Summe Alkohole	50	20	
Andere			50

Tab. 5.5: Richtwerte für die Summe flüchtiger organischer Verbindungen (Summe VOC)

	Raumluftkonzentration [mg/m^3]	Bemerkungen
Schleibinger et al. (2001)		
Zielwert	< 0,300	Keine Definition der Messmethodik
Richtwert	1,000	
Seifert (1999)		
Hyg. Vorsorgebereich	< 0,2 – 0,3	Richtwerte für TVOC, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche
Für dauernd benutzte Räume	< 1 – 3	
Nur vorübergehend zumutbar	Zwischen 10 - 25	

5.4.3.2 Bewertung

In der Luft 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 wurde Tetrachlorethen in relevanten Konzentrationen nachgewiesen, es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Wirkungsbezogene Innenraumrichtwert - WIR von $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer 7-Tagesmessung nicht überschritten

würde. Die Konzentrationen an Styrol lag in 45 Räumen unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es kann hier davon ausgegangen werden, dass der Wirkungsbezogene Innenraumrichtwert - WIR von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer 7-Tagesmessung nicht überschritten würde. In 4 Räumen lag die Konzentration zwischen 10 und $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hier kann nicht ausgeschlossen werden, dass der WIR bei einer 7-Tagesmessung überschritten würde. Die wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Akademie der Wissenschaften für Toluol (hier aufgrund ähnlicher Wirkeigenschaften auch angewendet auf Summe Aromaten) und für Xylole wurden in allen untersuchten Räumen deutlich unterschritten.

In 11 der 49 untersuchten Räume (22 %) 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 (22 %) lag im hygienischen Vorsorgebereich von unter $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In den anderen Räumen (56 %) wurden durchschnittliche bis geringfügig erhöhte Konzentrationen gemessen.

In zwei Objekten (SID 205 und 253) wird als Grund für die erhöhten Werte Bodenversiegelungsarbeiten angenommen, in zwei Objekten (SID 297 und 664) stehen vermutlich Sanierungsarbeiten in Zusammenhang mit den erhöhten Konzentrationen. Im Objekt SID 719 könnte der erhöhte Wert mit der Neuverlegung des Bodenbelagen in Zusammenhang stehen, in Objekt SID 691 mit dem vorhandenen Kautschukboden.

Mit einer Ausnahme konnte bei den Nachmessungen eine deutliche Abnahme der Konzentrationen an VOC festgestellt werden.

5.4.3.3 Empfehlung und Maßnahmen

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. Durch den Einsatz in einem nicht gut zu entlüftenden Bereich kann sich die Abgasung flüchtiger Stoffe über einen längeren Zeitraum erstrecken.

Als starke, persistente Quelle von VOC sind auch lösungsmittelhaltige Holz-Fußbodenbeschichtungen (Versiegelungen) zu betrachten. Die Anwendung dieser Produkte ist zwar laut Lösungsmittelverordnung (1995) auch für Professionisten verboten, aus Unkenntnis der Gesetzeslage werden jedoch immer wieder Böden mit diesen Präparaten (PUR-Lacke und Säurehärtter) beschichtet. Es wird daher empfohlen, lösungsmittelarme Rezepturen (Kunstharze oder Naturharze) einzusetzen.

5.4.4 Pentachlorphenol (PCP), Lindan

5.4.4.1 Bewertungsgrundlagen für die Raumluft

Richtwerte für Pentachlorphenol (PCP) und Lindan in der Luft von Innenräumen sind in Österreich noch nicht vorhanden. Zur Bewertung einer Raumluftbelastung können jedoch untenstehende Richtwerte für PCP, die in Deutschland angewendet werden, dienen.

Für Pentachlorphenol liegt der deutsche Richtwert I bei $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der deutsche Richtwert II bei $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ad-hoc-Arbeitsgruppe, 1997). Für eine Beurteilung der Situation wurden bei bewohnten Gebäuden weitere Untersuchungen (Biomonitoring) gefordert.

Ein älteres Bewertungsschema, das für PCP und Lindan publiziert wurde, kann für die Beurteilung eines Sanierungsbedarfes bzw. zur Festlegung der weiteren Vorgangsweise eingesetzt werden. Bei Raumluftkonzentrationen kleiner $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird unbelastete Luft angenommen. Bei Werten bis zu $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergebe sich in der Regel noch kein akuter Handlungsbedarf. Bei Werten zwischen $0,25 - 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips zumindest ein mittelfristiger Sanierungsbedarf gesehen. Bei Werten zwischen $0,5 - 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestehe bereits akuter Handlungsbedarf. Werte über $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führten in der BRD in der Regel zur Schließung von öffentlichen Einrichtungen bis zur erfolgreichen Sanierung (Blessing, Derra, 1992). Bei $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt der vom BGA/ Berlin festgelegte Richtwert (Balfanz et al., 1992).

Tab. 5.6: Richtwerte für Pentachlorphenol - Innenräume

Pentachlorphenol (PCP)	Raumluftkonzentration [µg/m³]	Bemerkungen
Bundesgesundheitsamt Deutschland (Balfanz et al., 1992)	1	bei Überschreitung Sanierungsbedarf
Blessing – TÜV Südwest (Blessing, Derra, 1992)	0,1 0,25 0,5 1,0	Zielwert bei Sanierungen Regelmäßige Belüftung und Reinigung Mittelfristiger Sanierungsbedarf Akuter Handlungsbedarf
Ad-hoc Arbeitsgruppe (1997) der IRK/ AGLMB, BRD	0,1 0,1 – 1,0 1,0	Richtwert I: bei Unterschreitung keine Gefährdung Zwischenbereich: mittelfristiger Handlungsbedarf Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf

5.4.4.2 Bewertungsgrundlagen für Holzproben

Grenzwerte für Pentachlorphenol (PCP), Lindan und andere Biozide in bereits eingebauten Produkten aus Holzwerkstoffen sind in Österreich nicht vorhanden. Die Konzentration von PCP ist in Fertigprodukten, die in Verkehr gesetzt werden, mit 5 mg/kg (ppm) gesetzlich beschränkt (PCP Verordnung 1991).

Bei Holz kann bis zu 1 mg/kg als Grundbelastung angenommen werden. Bei Werten bis zu 1 mg Substanz/kg liegt eine sehr niedrige Belastung vor. Bei Werten bis 5 mg/kg ist die Belastung gering, bei Werten zwischen 5 – 50 mg/kg deutlich. Als hohe Belastungen werden Werte zwischen 50 – 500 mg/kg und als sehr hohe Werte über 500 mg/kg angenommen.

In Anlehnung an PCP kann obiges Bewertungsschema auch für Lindan angewendet werden.

5.4.4.3 Bewertung

In 2 von 8 untersuchten Räumen lag die Raumluftkonzentration an PCP in einem Klassenraum sowie im Turnsaal in einem deutlich erhöhten Bereich. Der höchste Messwert lag im Turnsaal des Objektes SID 696 bei 2,2 µg/m³. Der Messwert von

1,2 µg/m³ in einer Klasse des Objektes SID 142 konnte bei einer Nachmessung nicht bestätigt werden. Die Werte überschritten den Richtwert II des deutschen Richtwerteschemas von 1 µg/m³ (Ad-hoc-Arbeitsgruppe, 1997), ab dem akute Maßnahmen empfohlen werden. In einem Raum des Objektes SID 917 wurde ein erhöhter Wert gemessen, der über dem Richtwert I des deutschen Richtwerteschemas von 0,1 µg/m³ lag. In allen anderen Objekten lag die Raumlufkonzentration an PCP unter dem Richtwert I.

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

Die Konzentration an Lindan lag in allen Objekten in einem unauffälligen Bereich, deutlich unter dem Wert von 0,1 µg/m³.



Abb. 5.7: Holzdecke mit hohen PCP-Konzentrationen in Klasse 3A der Schule SID 696

5.4.4.4 Empfehlung und Maßnahmen

Eine eher vorsichtige Zugangsweise zum Thema PCP rechtfertigt sich durch die Tatsache, dass PCP-hältige Präparate in der Regel mit polychlorierten Dioxinen und Furanen verunreinigt sind. Im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes wird daher empfohlen, bei Vorliegen von starken Emittenten bzw. schwachen, großflächigen Quellen PCP Sanierungsmaßnahmen einzuleiten.

Es existieren mehrere Möglichkeiten zur Senkung der Raumlufkonzentration an PCP in Innenräumen. Prinzipiell ist in den konkreten Objekten als Sanierungsmöglichkeit im Bereich der Fenster und nicht zugänglichen Holzflächen im Wand- und Deckenbereich das Beschichten mit einem Spezialanstrich möglich. Die Entfernung der kontaminierten Holzteile bietet jedoch immer die beste Gewähr für einen Erfolg der Sanierung. Im Falle von betroffenen Fenstern 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. Unter Umständen kann auch die Entfernung der obersten Materialschichte zweckmäßig sein. Im Falle von Holzflächen, bei denen ein direkter Hautkontakt mit dem kontaminierten Holz möglich ist, ist in jedem Fall ein Entfernen der obersten Materialschichte bzw. ein kompletter Austausch zu empfehlen.

5.4.5 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

5.4.5.1 Bewertungsgrundlagen

Richtwerte für Polychlorierte Biphenyle (PCB) in der Luft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Zur Bewertung einer Raumlufbelastung können jedoch untenstehende Richtwerte für PCB, die in Deutschland angewendet werden, dienen.

Raumlufkonzentrationen bis 300 ng/m^3 werden vom Bundesgesundheitsamt (BRD) als unbedenklich angesehen (Vorsorgewert). Bei Konzentrationen zwischen 300 und 3000 ng/m^3 sollte nach BGA-Empfehlung die Quelle der Raumlufverunreinigung aufgespürt und nach Möglichkeit beseitigt werden oder zumindest eine Verminderung der PCB-Konzentration angestrebt werden (Lukassowitz, 1990). Der Zielwert einer Sanierung liegt bei weniger als 300 ng/m^3 . Konzentrationen größer 3000 und kleiner 10000 ng/m^3 stellen nach Ansicht des BGA noch kein konkretes Gesundheitsrisiko dar. Es wurde jedoch empfohlen, eine solche Exposition zu vermeiden (Roßkamp, 1991).

5.4.5.2 Bewertung

Die Konzentration an polychlorierten Biphenylen (PCB) lag in allen untersuchten Objekten in einem unauffälligen Bereich. In dem Objekt SID 90 konnten leicht erhöhte Konzentrationen nachgewiesen werden, die jedoch den Vorsorgerichtwert von 300 ng/m^3 deutlich unterschritten. Eine entsprechende Nachmessung in diesem Raum ergab niedrige Werte.

5.4.5.3 Empfehlung und Maßnahmen

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

6 Kohlenstoffdioxid

6.1 Allgemeines Untersuchungskonzept

Um fundierte Daten für die Entwicklung eines CO₂-Rechenmodells für Schulklassen zu gewinnen, wurden zwei ausgewählte repräsentative Schulen apparativ untersucht. Es handelte sich um eine Volksschule (SID 580) die mit modernen Kunststofffenstern ausgestattet ist und eine Hauptschule (SID 76) mit alten Metallfenstern. In jeweils zwei Räumen pro Schule wurden im Zeitraum von Unterrichtsbeginn bis Unterrichtsende die Parameter Kohlenstoffdioxid (CO₂), Temperatur und rel. Luftfeuchte bestimmt. In einem der Klassenräume wurden zusätzlich parallel dazu die gleitenden Mittelwerte der Luftwechselzahl bestimmt. Um Korrelationen zwischen den Konzentrationen an CO₂ und Radon festzustellen, wurde die Raumluft jeweils beider Räume mittels eines zeitlich hoch auflösenden Gerätes auf Radon untersucht. Nach Unterrichtsschluss erfolgten Messungen des Luftwechsels (n₅₀ Wert) mittels einer Blower-Door Apparatur.

Das Lüftungsregime in den jeweiligen Klassenräumen wurde für die Unterrichtszeit und die Pausen genau vorgegeben. Die Untersuchungen wurden jeweils im Sommer und im Winter durchgeführt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Außenluftsituation in etwa der Jahreszeit entsprach.

6.2 Rechenmodell für Kohlendioxid in Schulklassen

Aufbauend auf theoretischen Überlegungen wurde 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 CO₂-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 CO₂-Konzentration im Klassenraum abzugeben.

Es wurde darauf geachtet, dass die Berechnung auf für den Nutzer einfache Weise mittels einer Microsoft[®] Excel-Datei erfolgen kann. In einem Eingabeblatt werden die unterschiedlichen Vorgaben eingetragen. In dieser Weise können für Klassenräume z.B.

die maximale Klassenbelegung, der notwendige Luftraum oder das resultierende Zuluftvolumen pro Schüler bestimmt werden.

6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Projektteiles sind in einem gesonderten Bericht zusammengestellt und bewertet.

7 Geruch

(Cornelia Hofstädter)

7.1 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

Im Fragebogen wurde abgefragt, ob in der Schule chemische oder physikalische Versuche durchgeführt werden und ob es dadurch zu einer Geruchsbelästigung kommt. Weiters wurde abgefragt, ob es in der Schule Geruchsbelästigungen gibt, welche nicht auf Chemikalien zurückzuführen sind und in wie vielen Unterrichtsräumen die Geruchsbelästigung auftritt. Um die möglichen Ursachen für die Geruchsbelästigung einzugrenzen, wurde gefragt, wie diese Gerüche einzustufen sind (chemisch, stechend, süßlich, abgestanden, muffig, feucht, stickig oder schimmelig).

Wie die Abb. 7.1 zeigt gaben 34 Schulen erhebliche Geruchsbelästigungen 89 Schulen geringfügige Geruchsbelästigungen und 661 keine Geruchsbelästigungen (Mehrfachnennungen waren möglich). 13 Schulen, haben keine Angaben über die Geruchsbelästigungen gemacht.

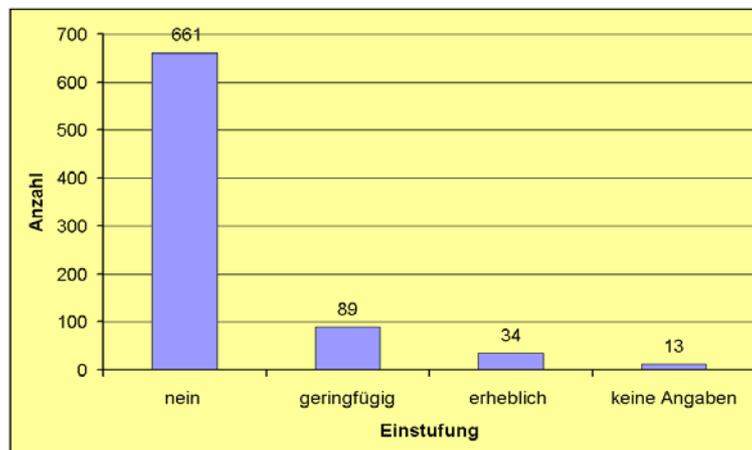


Abb. 7.1: Angegebene Geruchsbelästigung

Im Fragebogen wurde abgefragt, ob es in der Schule Räume (z.B. Chemielabor, Physiklabor), gibt in denen chemische oder physikalische Versuche durchgeführt werden. In 229 Schulen gibt es zumindest einen dieser Räume. In einer weiteren Frage wurde gefragt, wo die Chemikalien für diese Versuche gelagert werden (offene Regale, Abzug, Chemikalienschrank oder anders). In der Abb. 7.2 ist die Verteilung der Art der Chemikalienlagerung abgebildet.

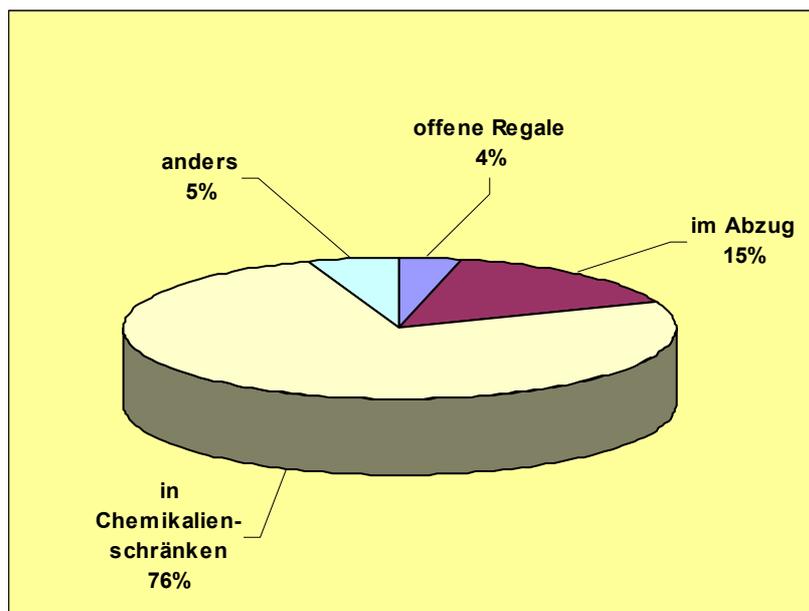


Abb. 7.2: Art der Chemikalienlagerung

In einer weiteren Frage wurde gefragt, ob durch die Lagerung von Chemikalien Geruchsbelästigungen entstehen. In 14,4 % der insgesamt 229 Schulen, welche chemische oder physikalische Versuche in zumindest einem Raum durchführen, treten durch die Lagerung der Chemikalien Geruchsbelästigungen auf.

Aus zeitlichen Gründen können nicht alle Schulen kontaktiert bzw. gemessen werden. Daher wurde durch spezielle Auswahlkriterien folgende Prioritätenreihung erstellt:

Priorität 1: Es wurde erhebliche Geruchsbelästigung angegeben, wobei die Gerüche als schimmelig, feucht oder muffig eingestuft wurden. In diesen Schulen wurde jedoch die Schimmelbildung mit „nein“, das heißt keine Schimmelbildung vorhanden, angegeben. Insgesamt sind das 6 Schulen. Vorerst wurde telefonisch abgeklärt, wo der Geruch auftritt, ob es wirklich keine feuchten Stellen im Raum gibt. Erst dann wurde über eine Pilzsporenmessung entschieden.

Priorität 2: Es wurde erhebliche Geruchsbelästigungen angegeben, welche durch die Chemikalienlagerung entstehen, das sind 33 Schulen, wobei 1 Schule bereits auch in Priorität 1 vorkommt. Von den verbleibenden 32 Schulen lagern 26 Schulen die Chemikalien in Chemikalienschränken. Vorerst wurde abgeklärt, wie die Chemikalien tatsächlich gelagert werden und wie die Chemikalienschränke ausgeführt sind (Entlüftung

nach außen vorhanden, schließen die Türen dicht, ...). Eventuell wäre noch stichprobenartige Messungen bzw. Begehungen notwendig.

Priorität 3: Es wurde erhebliche Geruchsbelästigung durch chemische, stechende oder süßliche Gerüche angegeben, wobei keinerlei Chemikalien gelagert werden bzw. keine Geruchsbelästigung durch die Lagerung der Chemikalien angegeben wurden. Dies war bei 5 Schulen der Fall. Telefonisch wurde abgeklärt, ob der Geruch noch weiter eingeschränkt werden kann (z.B. Putzmittelgerüche) oder ob der Geruch noch anders erklärt werden kann.

7.2 Ergebnisse

Priorität 1: Die Geruchsbelästigungen sind in 5 Schulen durch feuchte Stellen aufgrund eines Wassereintrittes von außen (undichtes Dach, aufsteigende Feuchtigkeit) entstanden. Bei diesen 5 Schulen lief die Sanierung zur Zeit der Untersuchung bereits bzw. ließ sich die Geruchsbelästigung durch konsequentes Lüften eingrenzen. In einer Schule (SID 336) wurde bereits eine Begehung vor Projektstart durchgeführt. Hier konnte die genaue Ursache des Geruches nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurde dem Schulerhalter empfohlen zu überprüfen, ob Mineralwolle als Dämmmaterial verwendet wurde. Da vermutet wird, dass die Mineralwolle feucht bzw. nass geworden sein könnte, was erfahrungsgemäß zur Zersetzung von Mineralsalzen und in der Folge zu Gerüchen führen könnte.

Priorität 2: Bei den durchgeführten Telefonaten stellte sich heraus, dass die Chemikalienschränke in den Schulen meist nur versperrbare Schränke, jedoch keine eigentlichen Chemikalienschränke, das heißt mit entsprechender Abluftabsaugung versehen sind. Daher traten die Gerüche auf. Die sogenannten Chemikalienschränke befanden sich meist in einem Vorbereitungsraum, welches nur von den Lehrern betreten werden darf.

Priorität 3: 4 Schulen wurden im Zuge einer Innenraumluftmessung besucht. Dabei konnte in einer Schule (SID 269) ein stechender Geruch im Turnsaal festgestellt werden, dieser ist vermutlich auf die Turn- bzw. Gymnastikmatten (Geruch nach Schweiß) zurückzuführen. Eine Messung der Innenraumschadstoffe ergab, dass die Raumluft in einem für Innenräume typischen Bereich liegt.

In der zweiten Schule (SID 794) konnte ein muffiger, feuchter Geruch im Lehrerzimmer bedingt durch Feuchteschäden festgestellt werden.

In der dritten Schule (SID 780) wurde im Keller ein feuchter Geruch festgestellt. Der Grund lag bei Feuchtigkeitsschäden, durch eine undichte Dachrinne, welche in diesem Bereich versickert.

In der vierten Schule sind die Geruchsbelästigungen wahrscheinlich auf den Sanitärbereich zurückzuführen. Dieser wurde zur Zeit der Erstellung der Studie bereits saniert.

Die verbleibende Schule wurde telefonisch kontaktiert. Dabei stellte sich heraus, dass die Ursache für die Geruchsbelästigung auf die angrenzende Werkstatt eines Vereines zurückzuführen war. Diese Werkstatt ist jedoch schon übersiedelt. Daher traten keine Geruchsbelästigungen auf.

Bei der Messung der Innenraumschadstoffe konnte in einer Schule (SID 580) ein schimmeliger, muffiger Geruch in den Unterrichtsräumen festgestellt werden. Hier wurde eine Messung der Pilzsporenkonzentration in der Raumluft durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Teilbereich Schimmelbildung angeführt.

7.3 Empfehlungen und Maßnahmen

Die vorhandenen Schränke, welche als Chemikalienschränke bezeichnet werden, eignen sich nicht zur Lagerung von Chemikalien. Die Schränke sollten daher durch Chemikalienschränke nach dem Stand der Technik ersetzt werden. Diese Chemikalienschränke sollten mit einer Absaugung für Luft im Schrankinneren ausgestattet sein. Dadurch können Geruchsbelästigungen verhindert werden. Sollten die Schränke nicht durch Chemikalienschränke ausgetauscht werden, so sollten die Chemikalien zumindest in gut belüfteten Räumen gelagert werden.

8 Schimmel

(Cornelia Hofstädter)

8.1 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

Im Fragebogen wurde abgefragt, ob in der Schule Schimmelbildung (erheblich/geringfügig/nein) auftritt und falls „erheblich“ oder „geringfügig“ angekreuzt wurde, war anzugeben, in wie vielen Räumen und in welchem Bereich (Kellerbereich, Unterrichtsbereich, Sanitärbereich, sonstiger Bereich) der Schimmel auftritt. Bei den Angaben ist es offensichtlich, dass die Angaben subjektiv gefärbt waren, da sie nur von einer Person abgegeben wurden. Im Gegensatz zu messtechnisch erhobenen Daten war hier besondere Vorsicht bei der Interpretation der Daten und der Bewertung der Schimmelbildung geboten.

Die Abb. 8.1 zeigt, dass in 54 Schulen erhebliche Schimmelbildung, in 199 Schulen geringfügige Schimmelbildung und in 529 Schulen keine Schimmelbildung angegeben wurde (Mehrfachnennungen möglich). 16 Schulen haben keine Angaben über die Schimmelbildung gemacht.

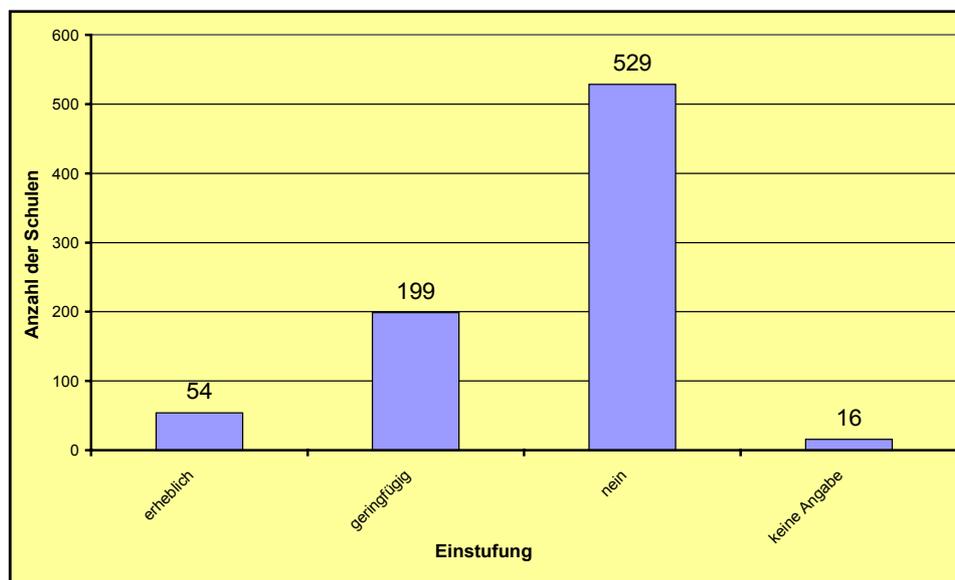


Abb. 8.1: Schimmeleinstufung lt. Fragebogen (Mehrfachnennungen möglich)

In Abb. 8.2 ist die Verteilung der Räume, in denen laut Angaben im Fragebogen Schimmelbildung auftritt, graphisch dargestellt (Mehrfachnennungen möglich). Daraus ist

zu sehen, dass die Schimmelbildung am häufigsten im Kellerbereich und in den Unterrichtsräumen zur Zeit der Probenahme auftrat.

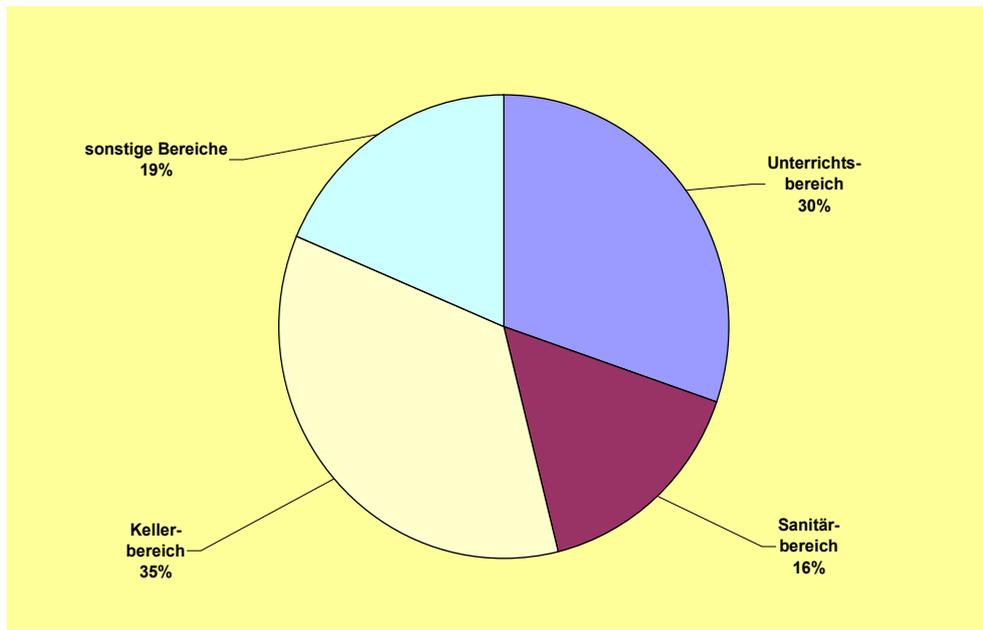


Abb. 8.2: Wo tritt die Schimmelbildung auf? (Mehrfachnennungen möglich)

Aus zeitlichen Gründen konnten nicht alle Schulen mit Schimmelbildung besucht werden. Deshalb wurde vom Projektteam vereinbart, eine Prioritätenreihung der Schimmelbildung vorzunehmen und zumindest jene Schulen zu besuchen, die erhebliche Schimmelbildung im Unterrichtsbereich angegeben haben.

Prioritätenreihung:

Priorität 1: Es wurde erhebliche Schimmelbildung in Unterrichtsräumen angegeben. Dies ergab eine Anzahl von 22 Schulen.

Priorität 2: Es wurde geringfügige Schimmelbildung in Unterrichtsräumen angegeben. Dies ergab eine Anzahl von 89 Schulen. Davon wurden ohnehin 4 Schulen schon mit Priorität 1 bewertet. Es standen also 85 Schulen zur Auswahl. Von diesen Schulen wurden 22 stichprobenartig ausgewählt, welche alle besucht wurden.

8.2 Ergebnisse - Begehungen

Die Objektivierung der Angaben erfolgte durch Vor-Ort-Begehungen bzw. zum Teil auch durch telefonische Kontaktaufnahme. Vor Ort wurde die Ursache der Schimmelbildung abgeklärt. Weiters wurde eine Bewertung des auftretenden Schimmelbefalles vorgenommen. Die Bewertung erfolgte wieder anhand der Klassen „erheblicher Schimmelbefall“, „geringfügiger Schimmelbefall“ und „kein Schimmelbefall“.

Aus der Abb. 8.3 ist zu sehen, dass von den mit Priorität 1 eingestuften Schulen 13 Schulen bei der Begehung ebenfalls als „erheblich“ eingestuft wurden. In 9 Schulen konnte die Schimmelbildung niedriger, also mit „geringfügig“ bewertet werden.

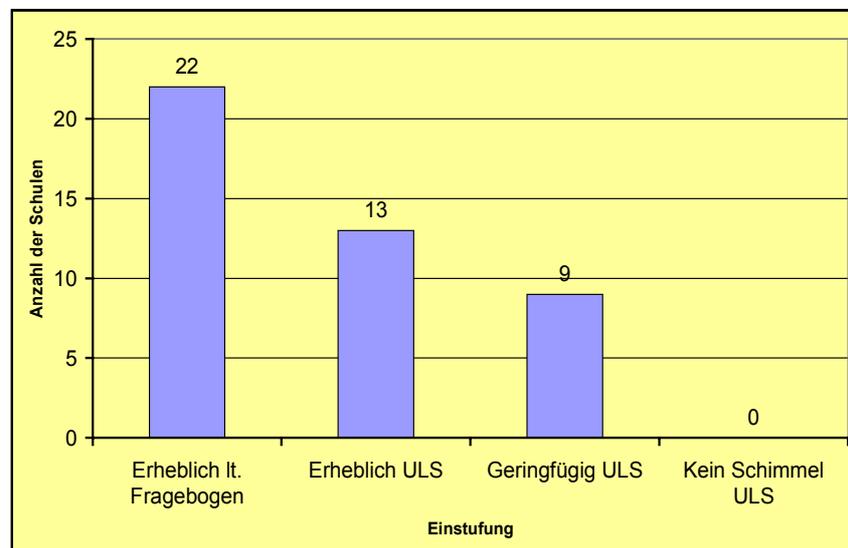


Abb. 8.3: Einstufung der ursprünglich als erheblich eingestuften Schimmelbildungen

Von den insgesamt 89 Schulen (Priorität 2) wurden 22 Schulen stichprobenartig für eine Begehung vor Ort ausgesucht. Von diesen Schulen wurden 6 Schulen höher gestuft, also mit erheblich bewertet, 12 Schulen wurden wieder als geringfügig eingestuft und in 4 Schulen konnte keine Schimmelbildung festgestellt werden (siehe Abb. 8.4).

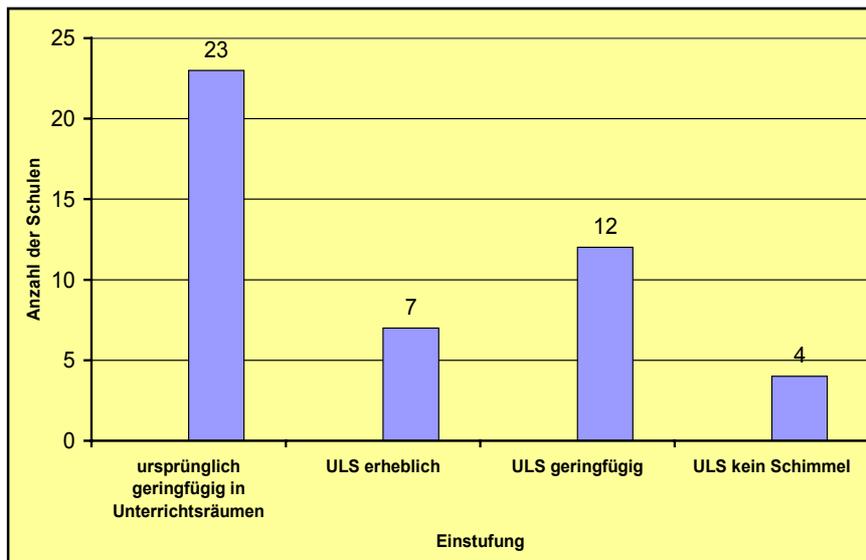


Abb. 8.4: Schimmelbildung in Unterrichtsräumen ursprünglich angegeben als „geringfügig“

Zusätzlich zu den ausgewählten Schulen wurden zwei Schulen (SID 527 und SID 306) auf Anfrage der Schulleitung besucht. In der Schule SID 527 war die Schimmelbildung mit „nein“ angegeben. Bei der Schule SID 306 war im Fragebogen angegeben, dass geringfügig Schimmelbildung, jedoch nicht im Unterrichtsbereich, auftritt. Daher wurde diese Schule ursprünglich nicht für eine Begehung ausgewählt. Bei der Begehung der beiden Schulen wurden die Schimmelbildungen als geringfügig eingestuft.

Im Zuge von Innenraumluftmessungen auf chemische Schadstoffe konnten in zwei Schulen (SID 28 und SID 269) Schimmelbefall bzw. Salzausblühungen festgestellt werden, auch hier wurde die Schimmelbildung ursprünglich mit „nein“ (SID 28) bzw. „geringfügig jedoch nicht in Unterrichtsräumen“ (SID 269) angegeben. Diese Schulen konnten ebenfalls als geringfügig eingestuft werden.

In der Schule SID 932 wurde im Zuge einer Gebäudedichtheitsmessung erheblicher Schimmelbefall festgestellt. Diese Schule war ursprünglich auch nicht für eine Begehung vorgesehen.

Insgesamt wurden 48 Begehungen vor Ort und 3 telefonische Kontaktaufnahmen mit den Schulen bzw. den Erhaltern der Schulen vorgenommen.

In der Abb. 8.5 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.

In den einzelnen Einstufungen (erheblich, geringfügig) ergeben sich jedoch Verschiebungen zwischen den Einstufungsklassen, welche in den Abb. 8.3 und 8.4 sowie in der Anlage 8a ersichtlich sind.

In vielen Fällen war der Schaden durch die Salzausblühungen, welche durch aufsteigende Feuchtigkeit entsteht, so groß, dass die entsprechenden Räumlichkeiten in die Klasse „erheblich“ eingestuft wurden. Dies deshalb, da ein Schimmelbefall an diesen Stellen nicht zur Gänze ausgeschlossen werden konnte.

In zwei Schulen war die Schimmelbildung so stark, dass den Erhaltern eine rasche Sanierung empfohlen wurde. Diese beiden Schulen sind auch am Ende des Fragebogenteiles als Schule mit einem erhöhten Risikofaktor angegeben. Eine dieser Schulen wurde die Sanierung nach der Begehung eingeleitet.

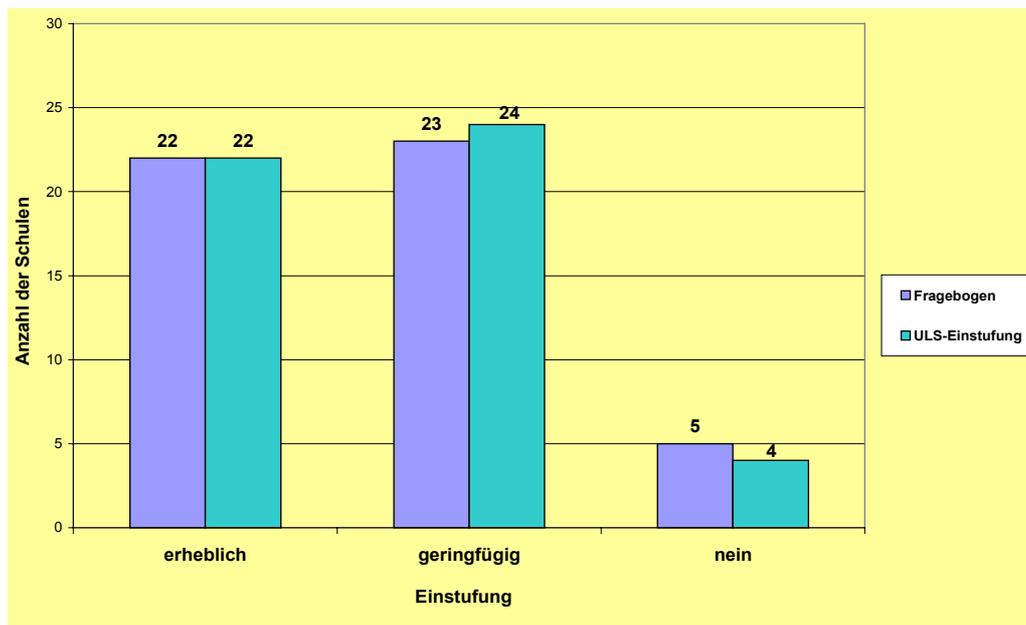


Abb. 8.5: Schimmelbildung Einstufungsvergleich

In Abb. 8.6 ist zu sehen, dass die häufigste Ursachen für die Schimmelbildung aufsteigende Feuchtigkeit und Wärmebrücken bzw. schlechte Wärmedämmung ist. Dies ist erklärbar mit dem Baujahr der Gebäude und der Sanierungsrate. Auffallend ist, dass vermutlich nur in wenigen Fällen das Lüftungsverhalten eine Rolle spielt. Eine Liste, in der alle Schulen mit der Bewertung laut Fragebogen, der Projektteam-Bewertung und den vermuteten Ursachen für die Schimmelbildung angeführt sind, liegt dem Bericht als Anlage 8a bei.

In 3 Schulen (6%) wurde die Ursache als „nicht eindeutig“ definiert, da diese Schulen bzw. die Erhalter dieser Schulen telefonisch kontaktiert wurden und sich herausstellte, dass die Angabe im Fragebogen falsch sein muss, da in der Schule kein Schimmelbefall auftritt. Die Schulen wurden daher auch mit „nein“, d.h. kein Schimmelbefall vorhanden, bewertet.

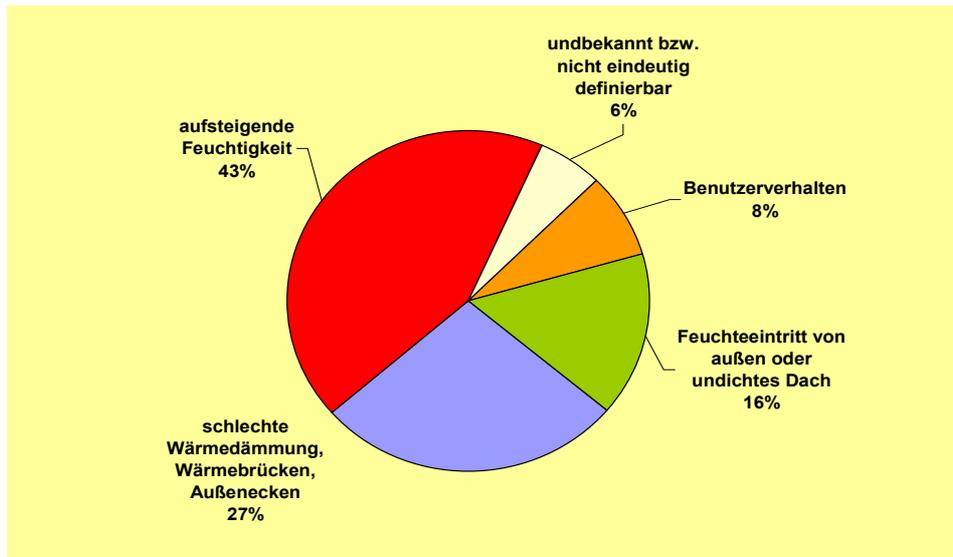


Abb. 8.6: Schimmelursachen

In zwei Schulen (SID 201 und SID 580) wurde eine Raumlufthuntersuchung auf Pilzsporen vorgenommen. In der Schule SID 580 wurde dies aufgrund eines während einer Innenraumlufthmessung festgestellten „feucht-muffigen“ Geruches durchgeführt. Die Schimmelbildung war im Fragebogen mit „nein“ angegeben. In der Schule SID 201 wurden die Mauern aufgrund der Hochwasserkatastrophe im August 2002 durchfeuchtet und eine Belastung der Raumlufth durch Schimmelpilzsporen vermutet. In dieser Schule wurde im Fragebogen, das heißt vor der Hochwasserkatastrophe, erheblicher Schimmelbefall im Unterrichtsbereich angegeben. Diese Schule wurde bereits vor der Messung besucht.

8.3 Ergebnisse - Pilzsporenmessungen

Die Raumlufth der Schule SID 201 wurde in insgesamt 5 Räumen auf Schimmelpilzsporen analysiert. Die Auswertung erfolgte auf die Parameter „Pilze und Hefen“ und auf „thermophile Pilze“. Pilze und Hefen wurden bei 25 °C im Brutschrank bebrütet, während die thermophilen Pilze bei 37 °C bebrütet wurden. Die Angabe der Keimgehalte erfolgt in koloniebildenden Einheiten pro Kubikmeter Luft [KBE/m³].

Tab. 8.1: Ergebnisse 1. Messung der Schule SID 201

Messraum	Messdatum	Gesamtkeimzahl Pilze und Hefen [KBE/m ³]	Sporenzahl thermophile Pilze
Raum 14	20. 09. 2002	610	70
Raum 13	20. 09. 2002	1600	80
Raum 18	20. 09. 2002	490	20
Raum 19	20. 09. 2002	760	40
Raum 21	20. 09. 2002	1600	20
Außenluft	20. 09. 2002	1300	80

Da bei der ersten Messung auch die Außenluft stark mit Schimmelpilzsporen belastet war, (was auf das herrschende Außenklima zurückzuführen war), wurde eine weitere Messung durchgeführt. In der Zwischenzeit erfolgte eine Trocknung der Mauern mittels Beheizen und Belüften der Räume.

Tab. 8.2: Ergebnisse 2. Messung der Schule SID 201

Messraum	Messdatum	Gesamtkeimzahl Pilze und Hefen [KBE/m ³]	Sporenzahl thermophile Pilze [KBE/m ³]
Raum 14	08.11.2002	120	3
Raum 13	08.11.2002	80	3
Raum 18	08.11.2002	290	6
Raum 19	08.11.2002	120	nicht nachweisbar
Raum 21	08.11.2002	130	9
Außenluft	08.11.2002	200	6

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass die Räume bei der zweiten Messung geringere Sporenkonzentrationen aufwiesen. Dennoch wurde eine weitere Trocknung der Mauern empfohlen. Weiters wurde empfohlen, die Oberflächen mit einem wachstumshemmenden Mittel zu besprühen.

Die Messung der Schule SID 580 erfolgte im erdgebundenen Werkraum der Schule, da immer wieder schimmelige Gerüche auftreten. Im gesamten Raum war zur Zeit der Begehung jedoch kein Schimmel sichtbar. Es wurde daher vermutet, dass in der Bodenkonstruktion Feuchtigkeit bzw. Schimmel vorhanden ist.

Tab. 8.3: Ergebnisse der Messung der Schule SID 580

Messraum	Messdatum	Gesamtkeimzahl Pilze und Hefen [KBE/m ³]	Sporenzahl thermophile Pilze
Werkraum	20.09.2002	90	3
Außenluft	20.09.2002	4200	10

Die hohe Außenluftsporenkonzentration ist auf die zum Messzeitpunkt herrschende Witterungsverhältnisse zurückzuführen. Die Konzentration an Sporen lag zur Zeit der Messung deutlich niedriger als die Sporenkonzentration der Außenluft.

Durch eine Messung der Materialfeuchtigkeit konnten erhöhte Feuchtigkeitsgehalte im Parkettboden festgestellt werden. Diese waren teilweise auch optisch zu erkennen. Es wäre möglich, dass eine mangelhafte Feuchtigkeitsisolierung des Untergrundes oder ein Wasserrohrbruch in diesem Bereich die Ursache für die Feuchtigkeitsschäden sind.

Dem Schulerhalter wurde daher eine Überprüfung der Bodenkonstruktion und gegebenenfalls eine rasche Sanierung empfohlen. Dies auch deshalb, da ein Schimmelpilzwachstum bis zur vollständigen Sanierung des Wassereintritts nicht ausgeschlossen werden konnte.

8.4 Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen

8.4.1 Bewertungsgrundlage

Die Einstufung der Schimmelbildung erfolgte nach Größe der befallenen Fläche bzw. nach Größe des Schadens der durch Feuchtigkeit entstanden ist.

erhebliche Schimmelbildung: $> 0,5\text{m}^2$

geringfügige Schimmelbildung: $< 0,5\text{m}^2$

Ist Schimmelbildung in mehreren Räumen aufgetreten, wurden die Summe der abgeschätzten Flächen als Gesamtfläche betrachtet und bewertet.

Da es in Österreich keine gesetzlichen Grenz- oder Richtwerte für die im Innenraum auftretenden Schimmelpilzsporenkonzentrationen gibt, wird für die durchgeführten Schimmelpilzsporenmessungen in den Schulen folgende Bewertungsgrundlage herangezogen:

Erfahrungsgemäß weisen normal belastete Räume eine Keimzahl von weniger als $100 \text{ KBE}/\text{m}^3$ - $250 \text{ KBE}/\text{m}^3$ auf. Aus epidemiologische Studien geht hervor, dass Konzentrationen von Hefe- und Schimmelpilzen ab etwa $250 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft gesundheitlich relevant sein können, wobei diese Zahl sehr von der Artenzusammensetzung der Sporen abhängig ist. Dabei ist die Außenluft in eine Bewertung mit einzubeziehen. Diese kann je nach Umfeld und Vegetationsperiode stark variieren. Die unterschiedliche Sporenbelastung der Außenluft beeinflusst auch die Grundkonzentration in Innenräumen. Wenn die Differenz zwischen Innen- und Außenluftkonzentration an Schimmelpilzsporen größer als $100 \text{ KBE}/\text{m}^3$ ist, kann dies als Hinweis auf eine aerogene Schimmelpilzbelastung der Innenraumluft gelten.

Die Kommission der EU gibt Referenzwerte an, wobei die Klassifizierung auf üblicherweise in Innenräumen feststellbaren Konzentrationen basiert und keine gesundheitliche Bewertung darstellt. Diese Referenzwerte sind in der Tab. 8.4 aufgelistet.

Tab. 8.4: Erfahrungswerte für die Beurteilung von Gesamtkeimzahlen von Pilzsporen in Innenräumen nach ECA

Kategorie	Sporenzahl in KBE/m ³ (Wohnungen)	Sporenzahl in KBE/m ³ (Büro)
Sehr niedrig	< 50	< 25
Niedrig	50-200	25-100
Mittel	200-1000	100-500
Hoch	1000-10000	500-2000
Sehr hoch	> 10000	> 2000

Das Schimmelpilzspektrum umfasst mehr als 100.000 zum Teil der weltweit verbreiteten Arten, wobei einige hundert in Wohnungen vorkommen können. Der typische modrige Geruch schimmelbelasteter Wohnungen rührt von abgesonderten Stoffwechselprodukten her.

Manche Pilzarten setzen bis zu 20 Mio. Pilzsporen pro Minute frei. Weder in der Luft noch auf trockenen Oberflächen finden Pilzsporen Voraussetzungen für ein Wachstum. Viele Pilzsporen weisen nur eine Größe von 2-10 µm auf und sind deshalb atemwegs- bzw. lungengängig. Die meisten gesundheitlichen Probleme werden ab einer gewissen Mindestmenge an Sporen in der Atemluft hervorgerufen, wobei diese von Art zu Art zwischen 50 und einigen Tausend Sporen pro m³ Luft liegen kann.

Aus diesen Gründen ist eine Bewertung der Schimmelpilzsporen in der Raumluft sehr schwierig.

8.4.2 Empfehlungen und Maßnahmen

In den meisten Fällen ist eine bautechnische Sanierung der Schulen notwendig. Dies wäre in den meisten Fällen eine „Trockenlegung der Mauern“ und anschließende Entfeuchtung. An zweiter Stelle steht eine wärmetechnische Sanierung, das heißt das zusätzliche 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. In der folgenden Tab. 8.5 sind diese Schulen mit den entsprechenden Sanierungsmaßnahmen aufgelistet.

Tab. 8.5: Schulen mit Einstufung „erhebliche Schimmelbildung“ und Auflistung der erforderlichen Sanierungsmaßnahmen

SID	Vermutete Ursache	Empfohlene Sanierung		
		Trockenlegung der Mauern	zusätzliche Wärmedämmung	Änderung des Benutzerverhaltens
76	aufsteigende Feuchte	1		
100	Wärmebrücke		1	
197	schlechte Wärmedämmung		1	
199	Wärmebrücke		1	
200	schlechte Wärmedämmung		1	
209	aufsteigende Feuchte	1		
274	aufsteigende Feuchte	1		
281	aufsteigende Feuchte	1		
304	aufsteigende Feuchte	1		
523	aufsteigende Feuchte	1		
527	Benutzerverhalten			1
559	schlechte Wärmedämmung		1	
585	aufsteigende Feuchte	1		
613	aufsteigende Feuchte	1		
631	aufsteigende Feuchte	1		
760	aufsteigende Feuchte	1		
794	aufsteigende Feuchte	1		
795	schlechte Wärmedämmung		1	
798	schlechte Wärmedämmung		1	
812	aufsteigende Feuchte	1		
813	aufsteigende Feuchte	1		
932	schlechte Wärmedämmung		1	

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 Nutzer- und Lüftungsverhalten zu. Bei ungenügender Entlüftung der Räume steigert sich die nutzungsbedingte Feuchtigkeitsabgabe 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 der Räume, wodurch die Feuchtigkeit abtransportiert wird. Das heißt im einzelnen:

- Die Belüftung der Klassenzimmer und anderen Aufenthaltsräume sollte zumindest in den Pausen vorgenommen werden.
- Die am weitesten verbreitete Lüftungsart (gekipptes Fenster) führt meist zu mehrfach überhöhten Luftwechselraten, weil die einströmenden Luftmengen unterschätzt werden. Die Energieverluste sind dadurch größer als bei der Quer- und Stoßlüftung. Die Auskühlung der Räume und Inneneinrichtungen erhöht außerdem die Wahrscheinlichkeit der Feuchtigkeitsbildung durch Kondensation. Zur Dauerlüftung ist diese Kippstellung nur von Mai bis September 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. Falls eine Querlüftung nicht möglich ist, sollte die Feuchtigkeit bei voll geöffneten Fenstern (Stoßlüftung) in kurzer Zeit weggelüftet werden.
- Die Dauer der Belüftung richtet sich nach der Außentemperatur. Der Belüftungsvorgang sollte mindestens 5 bis 15 Minuten andauern. Es sollte als Faustregel zumindest solange gelüftet werden, bis sich keine Feuchtigkeit mehr an den Scheiben der geöffneten Fenster niederschlägt.

9 Zugluft, Gebäudedichtheit

(Thomas Markowetz)

9.1 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

Die Auswertung der Fragebögen in Hinblick auf Zugluftprobleme wurde nach verschiedenen Gesichtspunkten durchgeführt. In erster Linie wurden Daten in Bezug auf das Befinden der Personen erhoben. Demnach konnten „keine“, „geringfügige“ und „erhebliche“ Zugluftprobleme angegeben sein. Grundsätzlich sind diese Daten subjektiv gefärbt. In den Angaben spiegelt sich auch der Wunsch nach allfälligen Sanierungsmaßnahmen wieder.

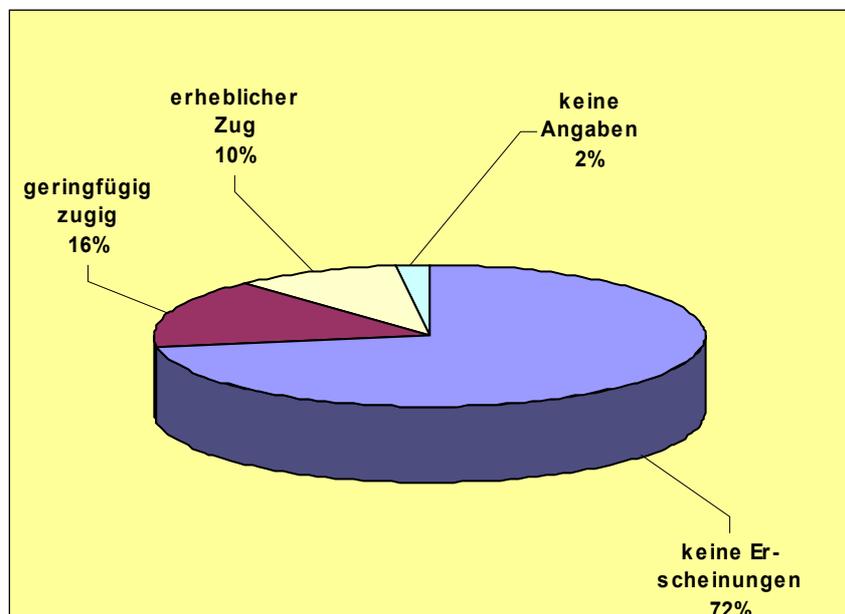


Abb. 9.1: Zugserscheinungen in Unterrichtsräumen

Von den an der Befragung teilgenommenen 793 Schulen wurden bei 79 Objekten (563 Unterrichtsräume) erhebliche Zugluftprobleme, geringfügige Zuglufterscheinungen wurden bei 128 Gebäuden (865 Unterrichtsräume) angegeben.

Bei früheren Projekten (Markowetz, 1997; Amt der OÖ Landesreg., 2001) wurde festgestellt, dass vor allem die Konstruktionsart der obersten Geschoßdecke (Leichtbau oder Massivbau) für Mängel an der Luftdichtheit verantwortlich ist. Daher wurde neben der Zugluft auch dieses Kriterium in das Auswahlverfahren eingebunden. Wie sich später herausstellte ist diese Verknüpfung im Falle der Schulen nicht sehr aussagekräftig, da die

Klassenräume in der Regel massive Deckenkonstruktionen aufweisen und somit eher die Fenster zu Undichtheiten führen. In 1997 abgeschlossenen Projekt wurden bereits 116 Turnsäle auf die Luftdichtheit untersucht. Aus diesem Grunde wurde bei dem laufenden Projekt bei diesen Unterrichtsräumen keine weitere Untersuchung der Zugluft vorgenommen.

Als Kriterium wurde aus obigen Gründen auch die Dichtheit der Fenster herangezogen. Beschränkt wurde die Auswahl auf jene Objekte, bei denen die Fenster jünger als 20 Jahre waren bzw. auf Objekte, bei denen dichte bzw. sehr dichte Fenster angegeben wurden. Grund dafür war, dass am Beginn des Projektes vermutet wurde, dass nicht nur die Fenster alleine für die Undichtheit verantwortlich sind. Dies bestätigte sich allerdings nicht.

9.1.1 Blower-Door Messung

Eine objektive Überprüfung der in den Fragebögen gemachten subjektiven Angaben ist durch ein technisches Messverfahren notwendig. Als Messverfahren wurde das Differenzdruckmessverfahren (Blower-Door-Messung) gewählt.

Die Luftwechsellmessung erfolgt mit einem Gebläse, das in einer Tür eingebaut wird. Mit dem Gebläse wird ein stationärer Differenzdruck zwischen Innen- und Außenluft angelegt. Das Messverfahren ist in der ÖNORM EN 13829 normiert.

Zur Bewertung der Dichtheit der Gebäudehülle wird der Luftvolumenstrom bei Über- und Unterdruck bei einer Druckdifferenz von 50 Pa bestimmt. Der stündliche Luftwechsel wird auf das Raumvolumen bezogen. Dieser n_{50} -Wert stellt eine Einzahlangabe und somit einen Qualitätsnachweis über die Dichtheit der Gebäudehülle dar.

Entsprechend DIN 4108, Teil 7, darf bei Gebäuden mit einer natürlichen Belüftung bei 50 Pa Druckdifferenz der 3-fache Luftwechsel, bezogen auf das Raumvolumen, nicht überschritten werden. In der Oö. Bautechnikverordnung 1999 ist für Wohngebäude ebenfalls dieser Wert gefordert. Für Gebäude oder Gebäudeteile mit einer mechanischen Belüftung ist entsprechend dieser Verordnung ein n_{50} -Wert von maximal $1,5 \text{ h}^{-1}$ gefordert.

9.1.2 Abweichungen zu Messungen an Wohngebäuden

In der Regel werden Gebäudedichtheitsmessungen für gesamte (Wohn-) Gebäude bzw. Wohnungen vorgenommen. Da die Schulen für die Anwendung dieser Messmethode in der Regel zu groß sind, wurden lediglich in den betroffenen Unterrichtsräumen Messungen durchgeführt. Dadurch ergeben sich aber erhebliche Unterschiede zu den Wohngebäuden, die Berücksichtigung finden müssen:

Klassenräume grenzen in der Regel nur mit einer Außenwand an die Außenluft. Luftverbindungen des zu messenden Raumes zu nebenliegenden Räumen beispielsweise über die Elektroinstallationen können oft nicht ausgeschlossen werden. Spezialmessverfahren mit mehreren Gebläsen sind bei dieser Untersuchung nicht angewendet worden.

Aus den angeführten Gründen können die Messergebnisse nicht direkt mit den Anforderungen für den Wohnbau verglichen werden. Da es auch keine Anforderungen für die Luftdichtheit einzelner (Unterrichts-) Räume gibt, ist eine Gegenüberstellung mit Anforderungen nicht möglich. Die Messergebnisse können demnach nur untereinander verglichen werden.

Aus verschiedenen vergangenen ähnlichen Messungen kann jedoch abgeleitet werden, dass bei massiver Bauweise und dichten Fenstern der Luftwechsel eines Klassenraumes deutlich unter 1 h^{-1} liegen kann bzw. sollte.

9.1.3 Auswahl der Messobjekte

Da nicht bei allen Klassenräumen Messungen durchgeführt werden konnten, wurde nach verschiedenen Kriterien eine Auswahl getroffen. Auf Grund dieser Auswahl wurden die Messungen durchgeführt.

Priorität 1: In **14 Schulen** wurden erhebliche Zugerscheinungen und eine leichte oberste Geschossdecke angegeben → Blower-Door-Messung bei allen Objekten

Priorität 2: In **3 Schulen** wurden erhebliche Zugerscheinungen und Fenster, die jünger als 20 Jahre sind angegeben → Lokalaugenschein und eventuell Messung

Priorität 3: In **8 Schulen** wurden geringfügige Zugerscheinungen und dicht und sehr dicht schließende Fenster angegeben → Lokalaugenschein und eventuell Messung.

Luftdichtheitsmessungen wurden bei allen Objekten der Prioritäten 1 bis 3 in je einem Unterrichtsraum vorgenommen. Weiters wurden zu Vergleichszwecken auch bei Klassen mit neuen Fenstern Luftdichtheitsmessungen vorgenommen um Ergebnisse für mögliche Sollwerte zu erhalten.

9.2 Ergebnisse

Insgesamt wurden 23 Klassenräume messtechnisch untersucht

Die n_{50} -Werte liegen bei den Klassenzimmern zwischen $0,7 \text{ h}^{-1}$ und $9,95 \text{ h}^{-1}$. Die Häufigkeitsverteilung der Messungen zeigt, dass der Großteil der Messungen in einem Bereich zwischen $2,6 \text{ h}^{-1}$ und $4,5 \text{ h}^{-1}$ liegt.

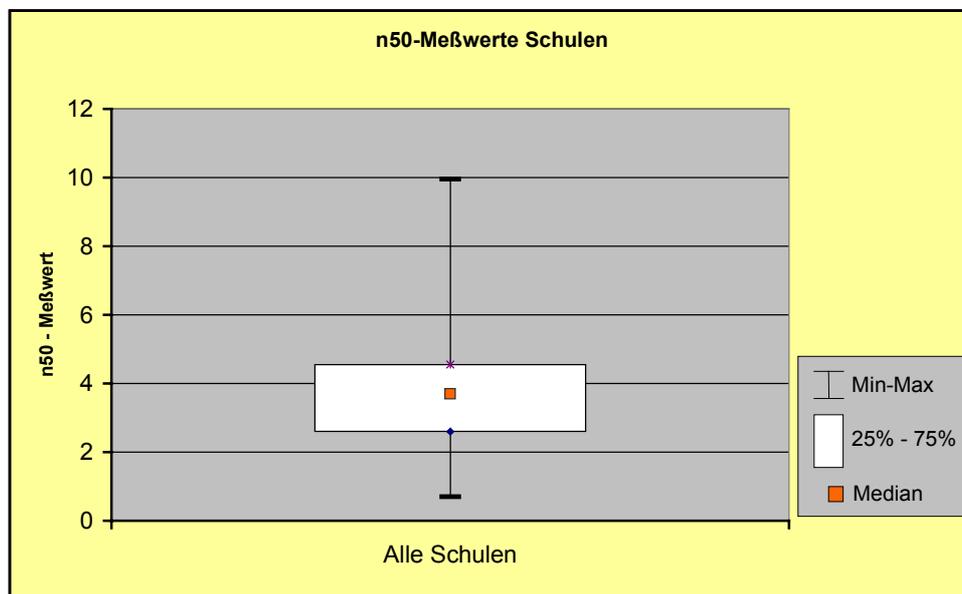


Abb. 9.2: Blower-Door-Messwerte aller Schulen

Wie sich herausstellte, ist vor allem die Dichtheit der Fenster für die Höhe der Messergebnisse verantwortlich. Die nachstehende Abb. 9.3 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.

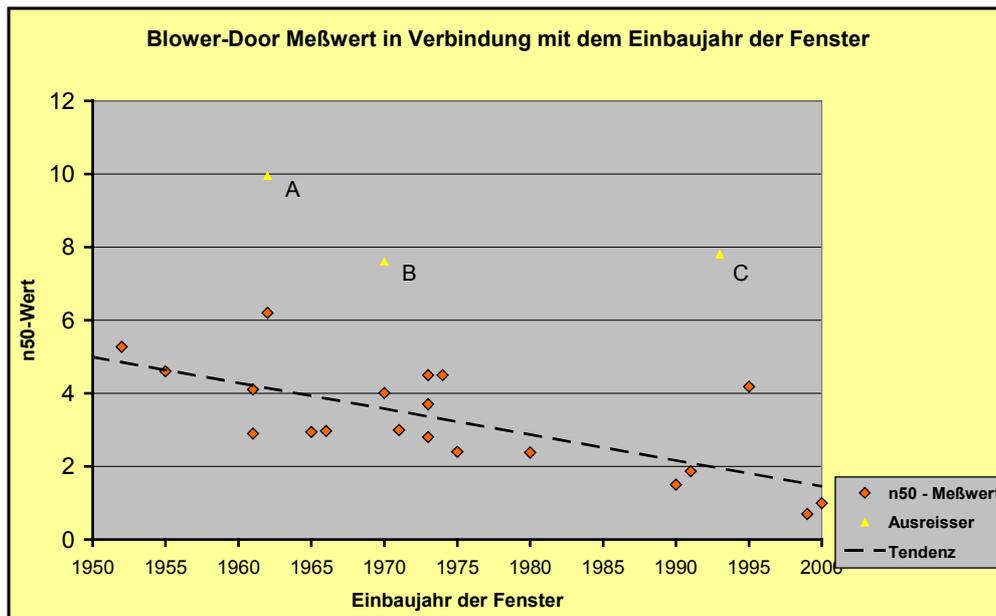


Abb. 9.3: Verbindung zwischen Messwert und Einbaujahr der Fenster

Bemerkungen:

Für die Berechnung der Korrelationsgeraden wurden die Punkte A bis C aus nachstehenden Gründen nicht berücksichtigt.

- zu Pkt. A: Die Deckenkonstruktion der Klasse und des davor liegenden Gangbereiches haben eine direkte Luftverbindung. Dieser Wert ist daher für die Fenster nicht repräsentativ.
- zu Pkt. B: Die Ursache für den schlechten n_{50} -Wert dieser Klasse konnte nicht geklärt werden. Die Fenster alleine dürften nicht Ursache dafür sein.
- zu Pkt. C: Im Bereich der Deckenkonstruktion sind zwar lufttechnische Verbindungen zum Gangbereich denkbar, im Bereich der Fenster treten jedoch ebenfalls deutliche Undichtheiten auf.

Zu beiden Grafiken wird festgestellt, dass die Auswahl der Messungen auf Grund der Anzahl der gemessenen Objekte und der gewählten Kriterien nicht repräsentativ für die Gesamtheit der Schulen bzw. Klassenräume ist.

9.2.1 Thermographie

Thermographische Messungen geben die Oberflächentemperatur der Gebäudehülle wieder und dienen zur Qualifizierung der Wärmedämmung der Gebäude insbesondere der Auffindung von Schwachstellen in der Wärmedämmung wie Wärmebrücken und Fugenundichtheiten.

Bei 8 Schulen wurden bereits in früheren Jahren thermographische Untersuchungen von außen durchgeführt. Im Zuge des gegenständigen Projektes wurde zusätzlich bei einer Schule eine thermographisch unterstützte Luftdichtheitsmessung vorgenommen (siehe Abb. 9.5).

Das nachstehende Thermogramm Abb. 9.4 zeigt eine Volks- und eine Hauptschule bei denen Luftdichtheitsmessungen im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden. Die Hauptschule im Hintergrund wurde 1964 errichtet und 1991 generalsaniert, wobei auch die Fenster erneuert wurden. In einer Klasse von diesem Gebäude wurde ein Luftwechsel von $n_{50} = 1,9 \text{ h}^{-1}$ gemessen. Im Vordergrund sieht man das Volksschulgebäude. Dieses wurde 1980 errichtet und bisher nicht saniert. Der gemessene Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz betrug in einem Klassenzimmer $2,4 \text{ h}^{-1}$. Deutlich sichtbar ist die schlechtere Wärmedämmung der Fensterverglasungen. Auch im Bereich der Betonsäulen zwischen den Fenstern sind erhöhte Oberflächentemperaturen erkennbar. Interessant ist, dass bei der thermographischen Messung bei den Fenstern erhebliche Luftundichtheiten festgestellt wurden, der Messwert der Luftdichtheitsmessung aber im guten Bereich im Vergleich zu anderen Schulen liegt. Die Ursache dafür ist vorerst nicht bekannt.

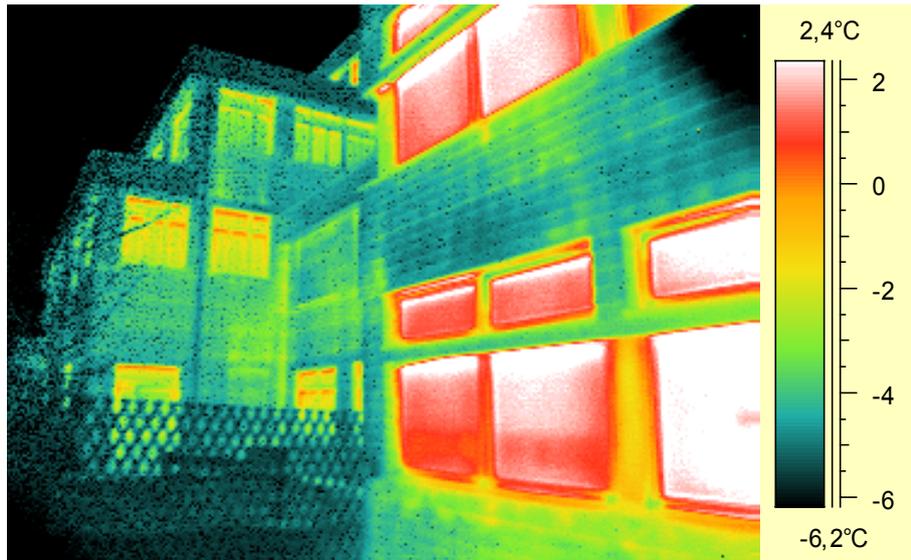
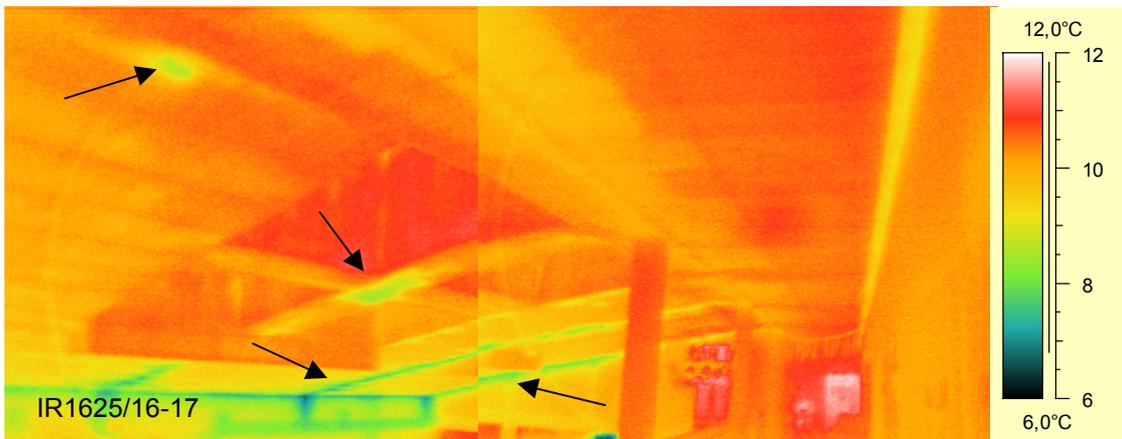


Abb. 9.4: Beispiel einer thermographischen Untersuchung

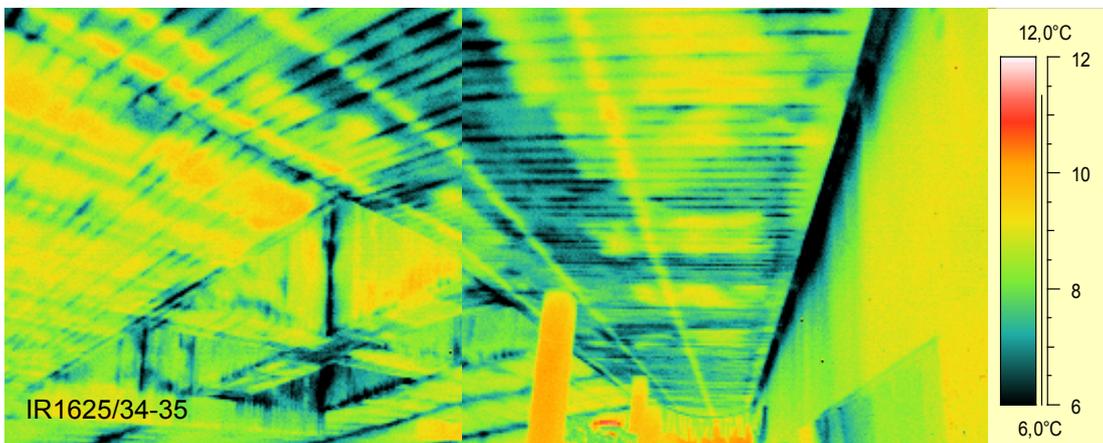
Luftundichtheiten wirken sich besonders bei leichten Deckenkonstruktionen aus. Die nachstehenden Thermogramme Abb. 9.5 verdeutlichen Fugenundichtheiten in einer Volksschulaula. Die Deckenkonstruktion ist in Leichtbauweise ausgeführt. Als Dampfsperre ist zwar zwischen Sichtholzschalung und Mineralfaser eine Polyäthylenfolie verlegt, diese Folie ist aber nicht luftdicht verlegt bzw. zu anderen Bauteilen angeschlossen.

Die nachstehenden Thermogramme verdeutlichen die Folgen der vorhandenen Undichtheiten. Das obere Thermogramm in Abb. 9.5 zeigt die Innenoberflächentemperatur unter normalen Luftdruckverhältnissen. Im Bereich von Konstruktionswechsel sind in der Aufnahme bereits reduzierte Oberflächentemperaturen erkennbar, die auf Schwachstellen in der Wärmedämmung hinweisen.

Durch Anlegen eines Unterdruckes wird Außenluft über Undichtheiten nach innen transportiert und somit die Innenoberfläche abgekühlt. Das untere Thermogramm in Abb. 9.5 wurde nach ca. 30 Minuten Unterdruck angefertigt, wobei auf Grund der hohen Undichtheiten lediglich ein Differenzdruck von ca. 15 Pa erreicht wurde. Infolge der einströmenden kalten Luft wird die gesamte Deckenkonstruktion deutlich abgekühlt. Unter normalen Betriebsbedingungen strömt die warme Raumluft infolge der Thermik nahezu ungehindert nach außen. Hohe Wärmeverluste sind somit die Folge.



Thermogramm bei natürlichen Luftdruckverhältnissen



Thermogramm bei ca. 20 Pa Unterdruck

Abb. 9.5: Gegenüberstellung Innenthermogramme bei Dichtheitsmessung

9.3 Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen

9.3.1 Bewertungsgrundlage

Da wie oben beschrieben die Messungen in den Klassenräumen nicht mit Wohngebäuden vergleichbar sind und auch keine entsprechenden Untersuchungen vorliegen, können die Messergebnisse mit keinen Anforderungen oder gleichwertigen Untersuchungen verglichen werden. Die durchgeführten Messungen zeigen aber, dass Luftwechsel unter 1 h^{-1} bei dichten Fenstern leicht erreichbar sein sollten.

9.3.2 Empfehlungen und Maßnahmen

Die schlechteren Luftdichtheits-Messergebnisse betreffen durchwegs Räume in denen alte, schadhafte Fenster eingebaut sind. In vielen Fällen sind Erneuerungsmaßnahmen bereits beabsichtigt bzw. stehen unmittelbar bevor. Oft weisen die Fenster neben der unzureichenden Luftdichtheit auch einen schlechten Wärmeschutz auf (ungedämmte Metallfenster).

Aus raumlufthygienischer Sicht (siehe Abschnitt 6 "Kohlenstoffdioxid, Raumklima-parameter, Luftwechsel, Radon") wäre grundsätzlich jede zusätzliche Frischluftmenge während der Unterrichtseinheiten, insbesondere in der Heizperiode, wünschenswert. Jedoch führen undichte Fenster zu unkontrollierbaren Zugscheinungen und unbehaglichem Raumklima. Aus diesen Gründen und aus Gründen der Energieeinsparung sind daher dichte Fenster und eine dichte Gebäudehülle unbedingt erforderlich.

Zusammenfassend sind Fenster in Klassenräumen mit einem Luftwechsel über 3 h^{-1} auf ihre Funktion zu kontrollieren und nötigenfalls zu sanieren bzw. bei entsprechendem Alter zu erneuern.

10 Energiebuchhaltung

(Thomas Markowetz)

Bei ca. 35 % der Schulen wurde angegeben, dass allgemein eine Energiebuchhaltung durchgeführt wird. Die über den Fragebogen erhaltenen Daten streuen jedoch in einem weiten Bereich und lassen nur sehr mangelhaft Schlüsse zu.

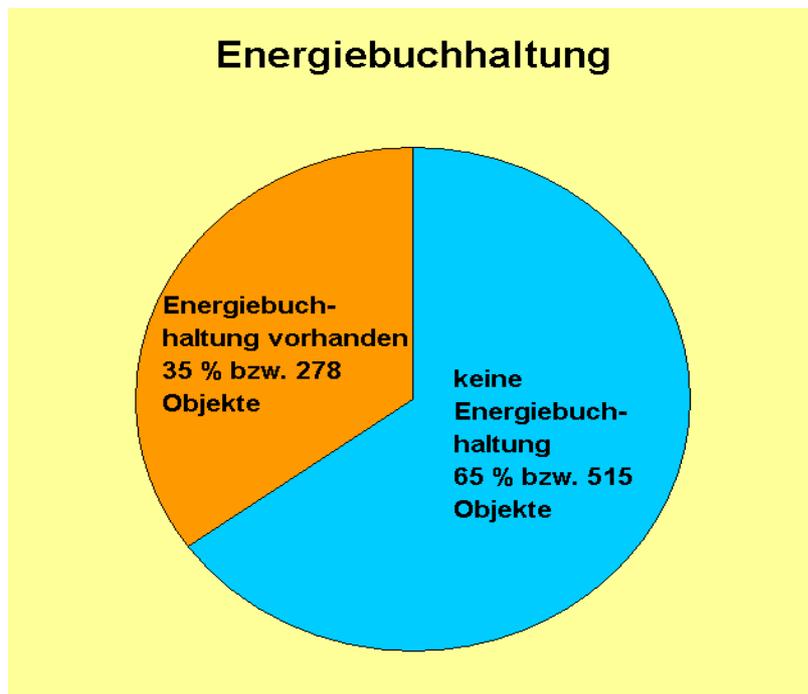


Abb. 10.1: Energiebuchhaltung vorhanden

11 Akustik

11.1 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

Im Fragebogen wurde unter der Rubrik "Akustik der Räume" zunächst eine subjektive Beurteilung der Raumakustik durch die Schulleitung vorgenommen. Für die Beurteilung der Sprachverständlichkeit wurde als Beurteilungshilfe das Schulnotensystem mit folgenden Kriterien angeboten: Lärmdämpfung, Sprachverständlichkeit sehr gut mit Note 1, bis sehr hallend und sehr schlechte Akustik mit Note 5. Um die Akustik unterschiedlicher Räume beurteilen zu können, waren Mehrfachnennungen möglich. Ein weiteres Unterscheidungskriterium der Räume war die Ausstattung mit einer Akustikdecke.

In weiterer Folge wurde abgefragt, ob es in der Schule auch Beeinträchtigungen durch Lärm gibt, und zwar aufgegliedert nach Verkehrslärm, Gewerbelärm, Lärm aus anderen Räumen oder Lärm von gebäudetechnischen Anlagen (z.B. Heizung, Lüftung). In diesem Zusammenhang wurde die Situation in Bezug auf Immissionen jeglicher Art abgefragt, in dem erhoben wurde, ob unmittelbar angrenzend ein gewerblicher Betrieb liegt, der zu einer Beeinträchtigung führt und welcher Art die Beeinträchtigung ist.

11.1.1 Akustik

Die Raumakustik der Räume (Klassenräume, Turnsäle, Gänge/Foyers/Garderoben, Sonderunterrichtsräume) konnte mittels Fragebogen auf Sprachverständlichkeit, Lärmdämpfung, etc. mit den Noten sehr gut (1) bis sehr schlecht (5) beurteilt werden. Bei größeren Unterschieden zwischen den einzelnen Räumen waren auch Mehrfachnennungen möglich. In der folgenden Tabelle 11.1 ist die Beurteilung durch die Direktion der Schulen bzw. den Schulerhalter ersichtlich.

Tab. 11.1: Beurteilung der Raumakustik durch die Direktion bzw. den Schulerhalter

Räume	Raumakustik					Akustik- decke vorhan- den? ja
	1 sehr gut	2	3	4	5 sehr schlecht	
Klassenräume	216	391	142	49	17	81
Turnsäle	79	227	183	115	70	56
Gänge/Foyers/Garderoben	82	226	223	142	95	67
Sonderunterrichtsräume (z.B.: Werkräume)	155	293	192	54	33	71

Die subjektiven Bewertungen mussten nach Auswertung der Fragebögen einer Objektivierung unterzogen werden, insbesondere bei jenen Schulen, bei denen die Verbesserung der Akustik vordringlich erschien. Aus organisatorischen Gründen war nur eine begrenzte Anzahl von Messungen möglich. Um aus der Vielzahl von Rückmeldungen eine geeignete Auswahl zu treffen, wurde eine Prioritätenreihung vorgenommen. Daraus ergaben sich 18 Schulen, die für Raumakustikmessungen ausgewählt wurden.

Die Auswahlkriterien und Prioritätenreihung für die Akustikmessungen waren:

Priorität 1: 24 Schulen haben alle Raumtypen mit 5 oder 4 oder Kombination aus 5 und 4 bewertet. In 6 dieser Schulen wurden Nachhallzeitmessungen in allen Raumkategorien durchgeführt.

Priorität 2: Zur Beurteilung der Bewertungskriterien 1-5 wurden in Stufe 1 und 3 jeweils 6 Schulen ausgesucht und gemessen.

Priorität 3: Bei 11 Schulen wurden Räume mit 3 oder 4 oder 5 bewertet, obwohl eine Akustikdecke angekreuzt wurde – Diese Diskrepanz konnte nach telefonischer Rücksprache abgeklärt werden.

Priorität 4: Es wurden Lärmbelästigungen durch Straßenverkehr, Nachbarräume und angrenzende Gewerbebetriebe angegeben; diese werden im Kapitel 12 „Lärm“ behandelt.

Somit wurden in 18 Schulen (Priorität 1 und 2) insgesamt 72 Nachhallzeiten gemessen

davon je:

▪ 6 Klassen mit den Bewertungskriterien	1	3	5
▪ 6 Foyers mit den Bewertungskriterien	1	3	5
▪ 6 Turnsäle mit den Bewertungskriterien	1	3	5
▪ 6 Werkräume mit den Bewertungskriterien	1	3	5

11.1.1.1 Definition der Nachhallzeit T30

Die Nachhallzeit ist als jene Zeitspanne definiert, die vergeht, bis ein Schalldruckpegel um 60 dB abgesunken ist. Hintergrundgeräusche verhindern jedoch oft, dass die vollen 60 dB gemessen werden können, weswegen man sich üblicherweise mit einer Absenkung von 30 dB begnügt, die auf 60 dB extrapoliert wird.

11.1.1.2 Messverfahren

Die Messungen wurden gemäß ÖNORM B 8115-3 vorgenommen. Für die Bestimmung der Nachhallzeit wurde die Impulsmethode gewählt. Als Messsignal wurde eine Startschusspistole verwendet. Es wurden sechs Schüsse als Schallanregung abgegeben und für die Auswertung der Nachhallzeit an drei Mikrofonpositionen mit je zwei Abklingkurven gemessen. Somit wurden insgesamt sechs Abklingkurven gemittelt und ausgewertet.

11.1.1.3 Messbedingungen

Die Messungen wurden in allen Raumkategorien ohne Anwesenheit der Schüler durchgeführt, um den Schulbetrieb so wenig wie möglich zu stören. Die Räume wiesen keine Besonderheiten auf. Decken, Wände und Fußböden waren mehrheitlich glatt und ohne Absorptionsmaterial. Das Mobiliar (Regale, Tische, Stühle) hatte durchwegs schallharte Oberflächen.

11.2 Ergebnisse

11.2.1 Beurteilung der Raumakustik in den Schulen

Die Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen dienen zum Vergleich mit den Anforderungen gemäß ÖNORM B 8115-3, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Anforderungen der ÖNORM für vollbesetzte Räume gelten, die Messungen jedoch in unbesetzten Räumen durchgeführt wurden.

Die Messergebnisse brachten gegenüber den subjektiven Beurteilungen durch die Direktion der Schulen bzw. den Schulerhalter überraschende Erkenntnisse, da als „sehr gut“ beurteilte Räume nicht immer optimale Nachhallzeiten aufweisen.

11.2.2 Raumakustik der untersuchten Räume

In den Abbildungen 11.1 bis 11.5 sind die Nachhallzeiten der untersuchten Räume graphisch dargestellt.

Die in allen gemessenen Raumkategorien herrschenden Nachhallzeiten sind unter Berücksichtigung der Absorption durch die Schüler in vielen Fällen geringfügig und in einigen Fällen deutlich über dem optimalen Nachhallzeitbereich. Im Folgenden wird auf die einzelnen Räume im Detail eingegangen.

11.2.2.1 Klassenräume / Werkräume

Die optimale Nachhallzeit für Klassen- und Werkräume liegt zwischen $T = 0,7$ und $0,8$ s. Wie aus der Abb. 11.1 ersichtlich ist, befanden sich in vielen Räumen die Nachhallzeiten bei ca. $1,0$ s, in manchen Räumen überschritten die Nachhallzeiten die optimale Anforderung wesentlich. Die in den Werkräumen (Abb. 11.2) teilweise kürzeren Nachhallzeiten sind auf bereits vorhandene Akustikdecken zurückzuführen.

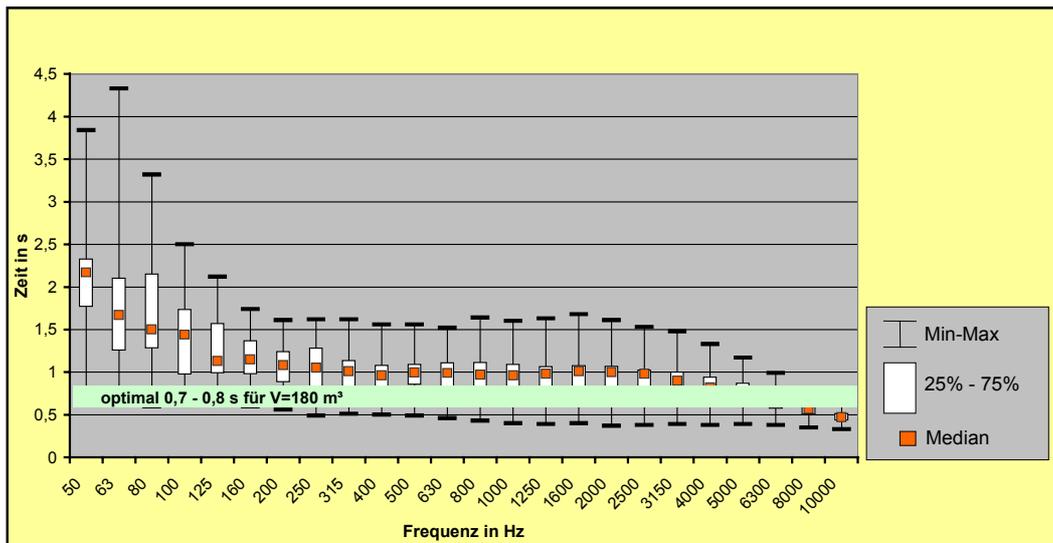


Abb. 11.1:Nachhallzeit T30 aller Klassen (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

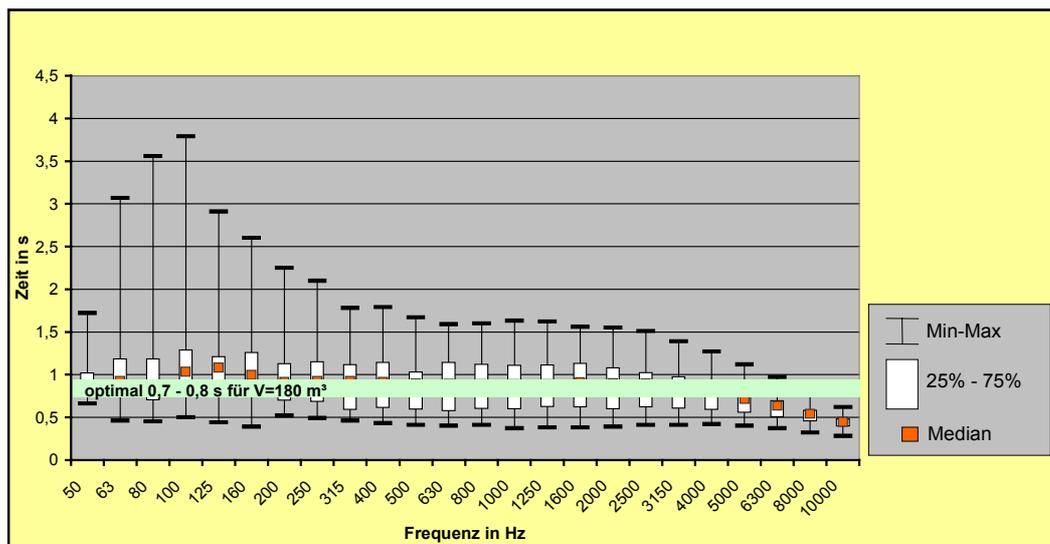


Abb. 11.2:Nachhallzeit T30 aller Werkräume (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

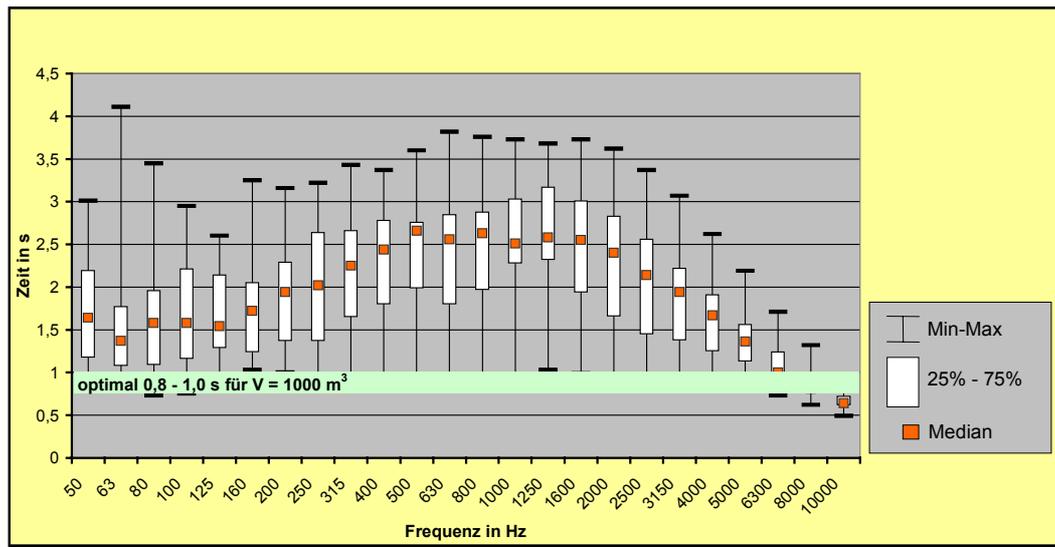


Abb. 11.3: Nachhallzeit T30 aller Turnsäle (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

11.2.2.2 Turnsäle

Die in den Turnsälen (Abb. 11.3) angebrachten Decken wirken sehr oft nur optisch gut, die akustische Wirksamkeit ist dagegen sehr oft nicht ausreichend. Die ballwurfsichere Ausführung scheint bei den angebrachten Decken meist gegeben zu sein. Die Nachhallzeiten sind vor allem im mittleren Frequenzbereich deutlich zu lang. Die optimale Nachhallzeit für Turnsäle mit einem Raumvolumen von ca. 1000 m³ sollte höchstens T = 1,0 s betragen.

11.2.2.3 Foyers

Da die wenigsten Foyers (Abb. 11.4) raumakustische Ausstattungen aufweisen, sind die gemessenen Nachhallzeiten fast generell über den gesamten Frequenzbereich zu lang (sehr hallend). Aus Lärminderungsgründen sollte die Nachhallzeit in den Foyers, Garderoben, Gängen und Stieghäusern T = 1,0 s nicht überschreiten.

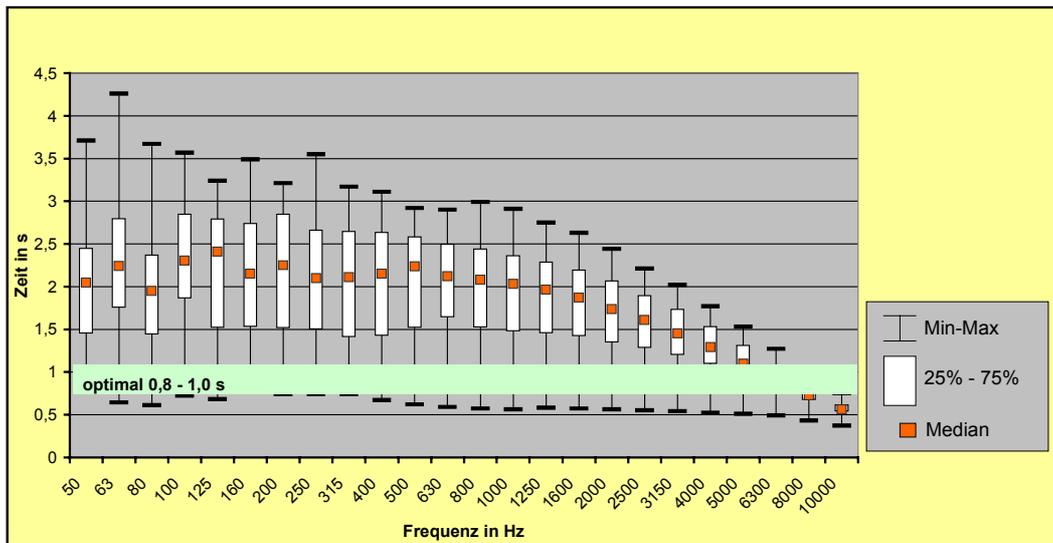


Abb. 11.4: Nachhallzeit T30 aller Foyers (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

11.2.2.4 Containerklassen

Zu Vergleichszwecken wurden auch zwei Containerklassen gemessen. Die Nachhallzeiten in den Containerklassen (Abb. 11.5) weichen im Sprachfrequenzbereich von 250 Hz – 2.000 Hz um nicht mehr als 25 % vom Wert bei 500 Hz ab. Da sich aufgrund der Containerkonstruktion schon eine gewisse Grundabsorption ergibt, sind die Messergebnisse somit besser als erwartet.

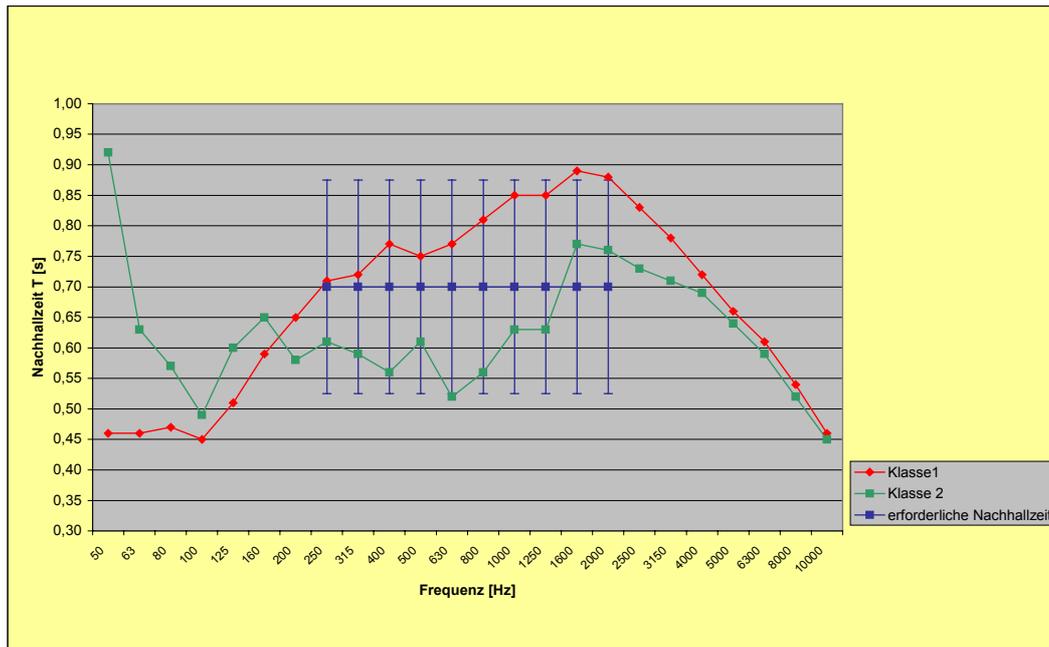


Abb. 11.5: Nachhallzeit T30 Containerklassen (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

11.3 Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen

11.3.1 Bewertungsgrundlage

11.3.1.1 Raumakustik – Allgemeines

Die akustische Situation in einem Raum wird sehr wesentlich von seiner Lage im Gebäude und der Schalldämmung der Bauteile bestimmt. Wie sich jedoch der im Raum entstehende und der von außen eindringende Schall im Raum verteilt, ist vom Schallabsorptionsvermögen der Begrenzungsflächen und der Einrichtung des Raumes abhängig. Die Bemessung der Absorption ist daher eine wesentliche Einflussgröße sowohl in Räumen, in denen eine gute Hörsamkeit erzielt werden soll, als auch in solchen, in denen eine Lärminderung erforderlich ist. Von großer Bedeutung ist aber auch die Geometrie des Raumes und die Verteilung der schallabsorbierenden und der schallreflektierenden Flächen im Raum. Für die raumakustischen Anforderungen der Unterrichtsräume in Schulen gilt die optimale Nachhallzeit gemäß ÖNORM B 8115-3. Die angegebenen optimalen Nachhallzeiten gelten für besetzte Räume und für eine Frequenz bei 500 Hz. Nach neueren Forschungsergebnissen werden kürzere Nachhallzeiten speziell im mittleren Frequenzbereich aber auch für hohe und tiefe Frequenzen als sinnvoll erachtet.

11.3.1.2 Schulraumakustik aus der Sicht der Beratungspraxis

Von den verantwortlichen Planern wird häufig die optische Gestaltung der Klassenräume in den Vordergrund gestellt. Vorrangig ergibt sich diese Situation bei Neubauten, wo keine akustische Grundabsorption vorgesehen wurde. Die Renovierung und Modernisierung von Klassenräumen sollte auf jeden Fall für eine akustische Verbesserung genutzt werden. Viele Beratungsaufträge werden auch dadurch ausgelöst, wenn ein hörgeschädigtes Kind in die Schule integriert werden soll und der Klassenraum hörgeschädigtengerecht anzupassen ist.

Unbefriedigende Situationen liegen dann vor, wenn in besetzten Klassenräumen im für die Sprache maßgeblichen Frequenzbereich von 250 Hz – 2000 Hz die Nachhallzeiten $T = 0,8$ s überschreiten. Der Störgeräuschpegel wird dann so hoch und die Sprachverständlichkeit so schlecht, dass Nachbesserungen empfohlen werden.

Die Beanstandungen lassen sich einteilen in

- zu viel Nachhall
- zu viel Lärm der Schüler
- zu schlechte Sprachverständlichkeit
- zu geringe Konzentration
- zu große Höranstrengung und
- zu hoher Stimmnaufwand

Vorschläge für eine optimale Klassenraumgestaltung lassen 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 so kurz wie bautechnisch und wirtschaftlich möglich sein
- Schallreflexionen von der Rückwand sind zu vermeiden
- Eine gute Sichtbeziehung zur Tafel, zum Lehrer (Mund), zu den Mitschülern (Mund) und auch eine gute Beleuchtung, bei der aber Blendungen vermieden werden
- Hörgeschädigte Kinder benötigen, wenn erforderlich, auch eine elektroakustische Unterstützung

Klassenzimmer neuer Bauart haben meistens eine Fläche von 50 – 55 m² und ein Volumen von etwa 170 m³ im Gegensatz zu Klassenzimmern älterer Bauart die häufig eine Fläche von 60 – 65 m² und ein Volumen von ca. 200 m³ aufweisen. Die Raumhöhe beträgt bei neueren wie älteren Bauarten rund 3 m. Räume mit noch größerem Volumen haben nicht etwa eine größere Grundfläche, sondern oft eine unangemessene Raumhöhe. Dies trifft vor allem bei Altbauten zu.

Die mittlere Nachhallzeit in besetzten Klassen- und Werkräumen soll nicht mehr als $T = 0,8$ s betragen. 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.

Zur Schallabsorption und zur Störgeräuschvermeidung ergeben sich die wesentlichsten Schallabsorptionsflächen durch Maßnahmen an der Decke und an der Rückwand. Insbesondere soll der Sprachfrequenzbereich zwischen 250 Hz und 2.000 Hz berücksichtigt werden. In Klassenzimmern 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 gehören zu einem sinnvollen Gesamtkonzept der Integrativen Beschulung.

Durch die Schallabsorptionsmaßnahmen verkürzt sich die Nachhallzeit, dadurch verringern sich die diffusen Schallanteile der Sprache. Das führt zu einer besseren Sprachdeutlichkeit und zu einer Verringerung der Störgeräusche. Die niedrigeren Störgeräusche animieren die Schüler auch zu einem ruhigeren Verhalten. Schallpegelmessungen vor und nach einer raumakustischen Klassenraumsanierung haben Lärmpegelsenkungen bis zu 10 dB ergeben. Dies ist durch einen „positiven Rückkoppelungseffekt“ zu begründen, der dadurch entsteht, dass man in einem ruhigeren Raum selbst leiser sprechen kann und dennoch gut verstanden wird. Durch diesen Effekt ist an den hinteren Plätzen ein besseres Signal/Störgeräusch-Verhältnis gegeben. Auf diese Weise wird ein entspanntes Reden und Zuhören in einer angenehmen Unterrichts- und Lernatmosphäre ermöglicht.

11.3.1.3 Klassenräume/Werkräume/Turnsäle

Eine Absenkung der Nachhallzeit in den Klassenräumen/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. Durch die Rechteckform der Klassenräume 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.

Mit einer abgehängten und mit Dämmstoffen aus schwerbrennbarem und schwachqualmendem Material hinterlegten Akustikdecke kann ein erheblicher Teil der Schallenergie absorbiert werden. Bei der Deckengestaltung sollte darauf geachtet werden, dass das Verhältnis von gelochten zu ungelochten Platten so verteilt wird, dass in der Mitte und über der Tafel der Unterrichtsräume schallharte (ungelochte) Platten verwendet werden oder die bestehende Decke belassen wird. Im seitlichen Randbereich der Decke sollten schallabsorbierende (gelochte) Platten mit hohem Absorptionsvermögen verwendet werden.

In Turnsälen geht es durch die dort stattfindenden Aktivitäten zwangsläufig laut zu. 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 sind die sofort spürbaren Effekte. Bei vorhandenen Holzdecken sollte untersucht werden, ob diese mit Schaum- oder Faserdämmstoffen hinterlegt wurden. Weiters sollten die Fugen zwischen den Paneelen mit Filzfedern ausgestattet sein. 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 (siehe dazu ÖNORM B 2608).

11.3.1.4 Foyers

Lange Nachhallzeiten in Foyers 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 Lärminderung 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.

Als wirtschaftliche Lösung für die raumakustische Gestaltung der Foyers und Gänge in den Schulen bietet sich eine abgehängte Akustikdecke im gesamten Foyerbereich und in den Gängen an. Unbedingt erforderlich ist bei einer abgehängten Akustikdecke, welche bei Bauten für größere Menschenansammlungen aus schwerbrennbaren Baustoffen bestehen muss, die Hinterlegung des Hohlraumes mit Dämmstoffen aus schwerbrennbarem Material. Falls Absorptionsmaterialien aus Faserstoffen verwendet werden, sollte unbedingt eine Faservliesauflage beigelegt werden.

11.3.1.5 Containerklassen

Da Containerklassen für Schulen nur eine Übergangslösung darstellen, ist eine weitere Verbesserung der raumakustischen Situation nicht erforderlich. Eine raumakustische Ausstattung der Container bei der Produktion wäre seitens der Herstellerfirmen überlegenswert.

11.3.2 Bewertung

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Raumakustik, speziell die Nachhallzeit, in den Klassen- und Werkräumen ist in vielen Fällen unter Berücksichtigung der Schüler in den Klassen- und Werkräumen eingehalten
- Die Nachhallzeiten in den Turnsälen und Foyers sind wie erwartet sehr lange (sehr schlecht, sehr hallend), dieser Umstand sollte bei einer Schulsanierung unbedingt Beachtung finden

- Das Bewertungskriterium "1" im Fragebogen entspricht nicht immer einer guten Akustik, da die Angaben subjektiv sind
- Die Parameter Deutlichkeit (Sprachverständlichkeit) und Klarheit wurden messtechnisch erfasst, jedoch keiner genaueren Analyse unterzogen

11.3.3 Empfehlungen und Maßnahmen

Eine Verkürzung der Nachhallzeit in den gemessenen Raumkategorien, die durch die angeführten einfachen Maßnahmen erreicht werden kann, wie z.B. durch schwere Vorhänge aus schwerbrennbarem und schwachqualmendem Material, sollte sofort ausgeführt werden.

Das Anbringen von Akustikdecken in den Klassen, Werkräumen, Turnsälen sowie in den Foyers ist bei Neubauten unbedingt vorzusehen und sollte bei einem Umbau oder bei einer Sanierung des Schulgebäudes auf jeden Fall in Betracht gezogen werden. Die Anbringung und Berechnung der notwendigen Absorptionsflächen sollten von einer Fachfirma durchgeführt werden. Bei den verwendeten Schallschlucksystemen sind die Vorschriften der Oö. Schulbau- und Einrichtungsverordnung, der einschlägigen ÖNORMEN und die Brandschutzvorschriften hinsichtlich der Brennbarkeit Qualm- bzw. Tropfenbildung zu berücksichtigen. Es wird daher empfohlen, bereits im Planungsstadium der konkreten Maßnahmen mit den Sachverständigen des Landes Oberösterreich Kontakt aufzunehmen.

12 Lärm

(Wolfgang Gruber)

12.1 Untersuchungskonzept, Messmethoden und Durchführung

209 Schulen haben angegeben, dass sie durch Lärm beeinträchtigt sind. Überwiegend wurde als Lärmquelle Straßenverkehr angegeben, nämlich 158 Schulen. Als Lärmquelle Nr. 2 wurden benachbarte Räume angeführt, das heißt in 53 Schulen.

Hinsichtlich Lärmbelastungen von außen wurden im ersten Schritt die verkehrsbedingten Lärmemissionen durch das hochrangige Straßennetz (Bundesstraßen, Landes- und Bezirksstraßen) an jenen 158 Schulen untersucht, welche im Umfragebogen Lärmimmissionen von außen als Problem gekennzeichnet haben. Die Beschränkung auf das hochrangige Straßennetz ist deshalb notwendig, da nur für dieses konkrete Verkehrsdaten vorliegen, die unerlässlich für eine Berechnung sind. Die Untersuchung wurde dann auf alle 793 Schulen ausgedehnt.

In der Beurteilungsmethodik wurden dabei das aktuelle Verkehrsaufkommen und die Fahrgeschwindigkeit der relevanten Verkehrswege im Umkreis von 500 m vom Schulstandort untersucht. Mitberücksichtigt wurde auf dem Schallausbreitungsweg die vorhandene Bebauungsstruktur nach dem aktuellen Stand der DKM (Digitale Katastralmappe) über ebenem Gelände.

Die Immissionspegel geben keine Werte für einzelne Fassaden oder Fenster wieder, sondern liefern einen Wert, der den Schulstandort charakterisiert.

Die berechneten Schallpegelwerte wurden mit den Planungsrichtwerten für Baulandkategorien, in denen die Errichtung von Schulgebäuden zulässig ist, nach der ÖNORM S 5021-1 verglichen. Diese Vergleichswerte wurden als Kriterium für die Qualität des Schulstandortes herangezogen, wobei sich die Aussagekraft jedoch ausschließlich auf das hochrangige Straßennetz beschränkt. Verkehrsbedingte Lärmemissionen von unter Umständen wesentlich näher gelegenen Gemeindestraßen mit schalltechnisch relevantem Verkehrsaufkommen sind dabei nicht berücksichtigt.

12.1.1 Beeinträchtigungen durch angrenzende Betriebe

25 Schulen haben angegeben, dass sich in unmittelbarer Nähe ein Betrieb befindet, der nach Meinung des Schulleiters zu einer Beeinträchtigung führt, 15 von diesen 25 Schulen haben Lärm als Beeinträchtigung angegeben. Diese 25 Schulen wurden telefonisch kontaktiert, die Ursachen für die Beeinträchtigungen ermittelt und wo erforderlich die zuständigen Behörden verständigt.

12.1.2 Lärm aus benachbarten Räumen

Insgesamt haben 53 Schulen angegeben, dass sie durch Lärm aus Nachbarräumen gestört sind (siehe Abschnitt 11.1, Priorität 4). Davon wurden 5 Schulen 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 zwei nebeneinanderliegende Klassenzimmer und ein Klassenzimmer neben dem Gang gemessen.

12.2 Ergebnisse

12.2.1 Lärm durch Straßenverkehr

Im ersten Schritt wurden jene 158 Schulen betrachtet, die eine Lärmbelastung durch Straßenverkehr angegeben haben. Die Untersuchung der Umgebung dieser Schulen im Hinblick auf ein hochrangiges Straßennetz ergab, dass sich bei **121 Schulen** in einem Umkreis von 500 m Straßen der Kategorien Bundes-, Landes- oder Bezirksstraßen befinden. Die Schallimmissionsberechnungen für die Bewertung dieser 121 Schulstandorte in Bezug auf das hochrangige Straßennetz zeigen die in Abb. 12.1 dargestellte Verteilung des energieäquivalenten Dauerschallpegels $L_{A,eq}$ in den dB-Stufen.

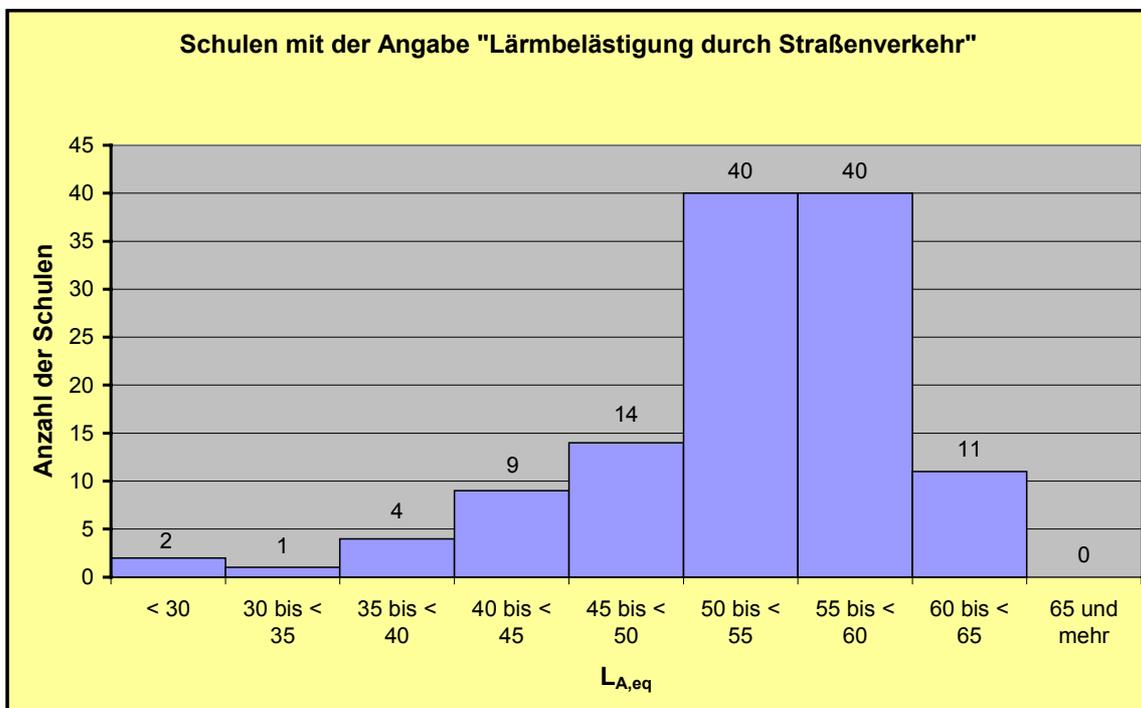


Abb. 12.1: Lärmbelastung der Schulen mit der Angabe „Lärmbelastung durch Straßenverkehr“ in Bezug auf das hochrangige Straßennetz

Für die Bewertung wurden die in der ÖNORM S-5021-1 und der OÖ Grenzwertverordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte für die Baulandkategorien Reines Wohngebiet, Wohngebiet und Dorfgebiet sowie Kerngebiet herangezogen. Dabei konzentrierte man sich auf den zulässigen energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ für den Tag.

Die Immissionsgrenzwerte sind wie folgt festgelegt:

Tab. 12.1: Immissionsgrenzwerte

Kategorie	LA,eq [dB]	Bewertung für Schulstandort
Reines Wohngebiet	50 dB	Nicht belastet
Wohn- bzw. Dorfgebiet	55 dB	Gering belastet
Kerngebiet	60 dB	Mäßig belastet

Bei Immissionswerten über 60 dB muss der Schulstandort als stark belastet betrachtet werden.

Weiters wird im Folgenden angenommen, dass bei Immissionswerten unter 50 dB keine wesentlichen Störungen für die Schüler im Unterricht zu erwarten sind. Dies ist auch im Hinblick auf die notwendigerweise immer wieder geöffneten Fenster anzunehmen.

Daraus ergibt sich für die oben betrachteten 121 Schulstandorte folgende Bewertung:

Tab. 12.2: Bewertung der Schulen mit der Angabe „Lärmbelastung durch Straßenverkehr“ in Bezug auf das hochrangige Straßennetz

Bewertung	Anzahl der Schulstandorte
Nicht belastet	30
Gering belastet	40
Mäßig belastet	40
Stark belastet	11

Bei dieser Bewertung muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass sich die gesamten Betrachtungen auf das hochrangige Straßennetz beziehen. Eventuelle relevante Belastungen durch Gemeindestraßen sind, auf Grund der fehlenden Verkehrsdaten für diese Straßen, nicht berücksichtigt.

Im zweiten Schritt werden nun alle 793 Schulen, die in dieser Studie ausgewertet werden, hinsichtlich des Schulstandortes betrachtet. Im Hinblick auf das hochrangige Straßennetz gibt es im Umkreis von 500 m um die Schulstandorte bei **599 Schulen** Straßen dieser Kategorien.

Die Schallimmissionsberechnungen für die Bewertung dieser 599 Schulstandorte in Bezug auf das hochrangige Straßennetz zeigen die in Abb. 12.2 dargestellte Verteilung in den dB-Stufen.

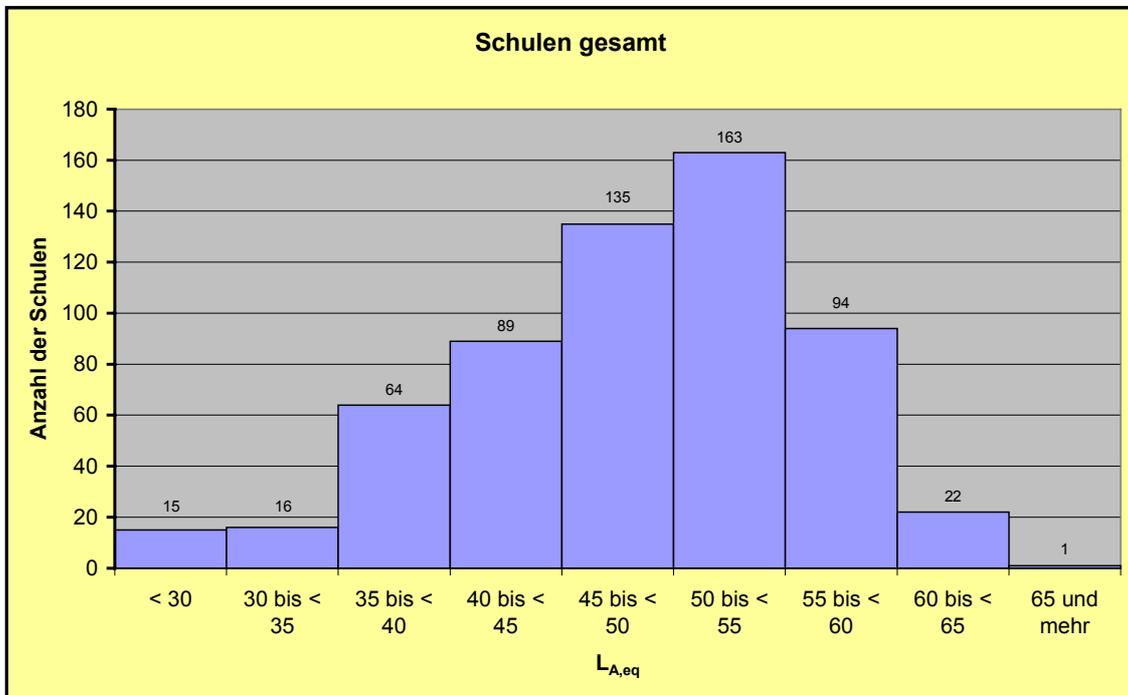


Abb. 12.2: Berechnung der Lärmbelastung der Schulen, die im Nahbereich des hochrangigen Straßennetzes liegen

Die Bewertung nach den oben bereits beschriebenen Kriterien ergibt folgendes Bild:

Tab. 12.3: Bewertung der Schulen, die im Nahbereich des hochrangigen Straßennetzes liegen

Bewertung	Anzahl der Schulstandorte
Nicht belastet	319
Gering belastet	163
Mäßig belastet	94
Stark belastet	23

Da es sich bei diesen Auswertungen um eine Bewertung der Schulstandorte handelt und nicht um eine Betrachtung konkreter belasteter Fassaden, bedeutet eine berechnete Belastung nicht zwingender Weise auch eine Störung der Schüler im Unterricht. Dazu müsste auch die konkrete Lage der Schule und der Gebäudeteile zu den Straßen berücksichtigt werden. Die Auswertung liefert jedoch einen Anhaltspunkt, wie geeignet

der jeweilige Schulstandort, aus Sicht des Lärmschutzes und bezogen auf das hochrangige Straßennetz, für die Errichtung einer Schule zum jetzigen Zeitpunkt wäre.

12.2.2 Luftschalldämmung

Die mindesterforderlich bewertete Standard-Schallpegeldifferenz beträgt gemäß OÖ Bautechnikverordnung zwischen Klassenzimmern ohne Verbindung durch Türen $D_{nT,w} \geq 55$ dB. Die ermittelten Messergebnisse zwischen den Klassenzimmern entsprechen zwar nicht ganz der Mindestanforderung liegen aber bis auf eine Ausnahme nur um 2-3 dB darunter. Die Unterschreitung der Mindestanforderung ist größtenteils auf die schlechte Schalldämmung der Türen zum Gang zurückzuführen. Betrachtet man die Messergebnisse zwischen der Klassentrennwand mit Tür zum Gang und der Klassentrennwand mit abgedichteter Tür (die Funktionsfuge der Tür wurde mit einem Elastikkitt abgedichtet) zum Gang, so ist in Abb. 12.3 ersichtlich, dass die Türen in der Funktionsfuge relativ schalldurchlässig sind, da die Messergebnisse mit abgedichteter Tür durchwegs eine um 10 dB höhere Schalldämmung aufweisen als ohne Abdichtung. Die abgedichteten Türen weisen größtenteils die mindesterforderlich bewertete Standard-Schallpegeldifferenz zwischen Klassenzimmern und/oder zwischen solchen Räumen und dem Stiegenhaus oder Gang mit Verbindung durch Türen von $D_{nT,w} \geq 38$ dB gemäß OÖ Bautechnikverordnung auf.

Eine Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen den Klassenzimmern kann nur durch eine umlaufende Lippendichtung sowie einen Türanschlag mit Lippendichtung bei den Türen erreicht werden.

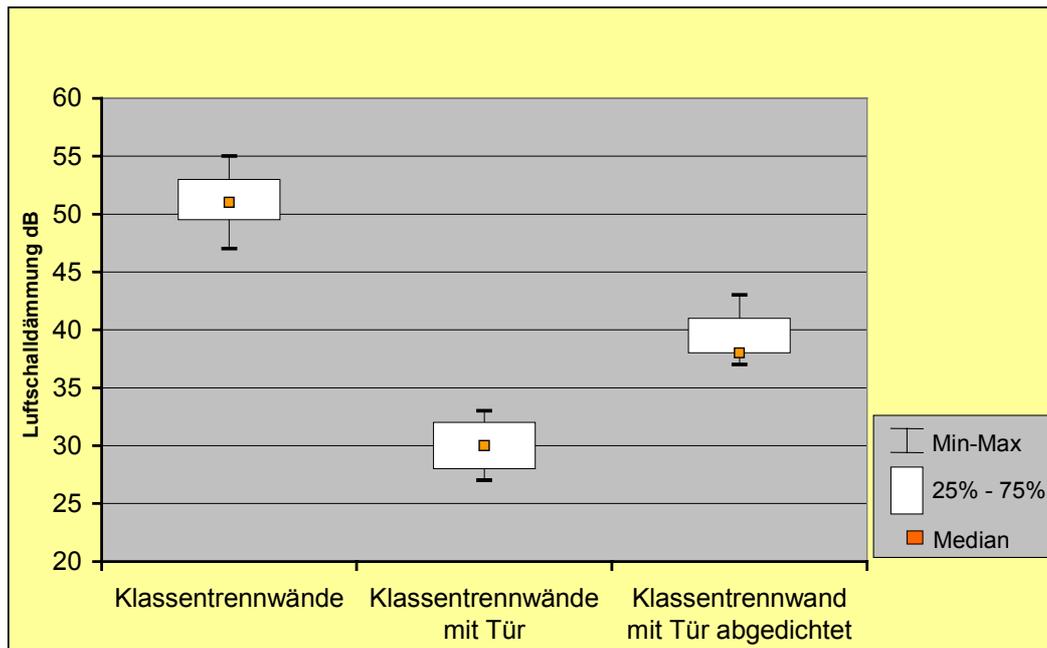


Abb. 12.3: Luftschalldämmung, Vergleich (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

12.2.3 Trittschalldämmung

Der höchstzulässig bewertete Standard-Trittschallpegel von Decken zwischen den Klassenzimmern beträgt gemäß OÖ Bautechnikverordnung $L'_{nT,w} \leq 48$ dB. Der höchstzulässig bewertete Standard-Trittschallpegel zwischen Klassenzimmern einerseits und zwischen Stiegenhäusern und Gängen andererseits beträgt gemäß OÖ Bautechnikverordnung $L'_{nT,w} \leq 50$ dB. Betrachtet man in Abb. 12.4 die Messergebnisse der Trittschalldämmung, so ist ersichtlich, dass alle Prüfergebnisse die Mindestanforderung erfüllen.

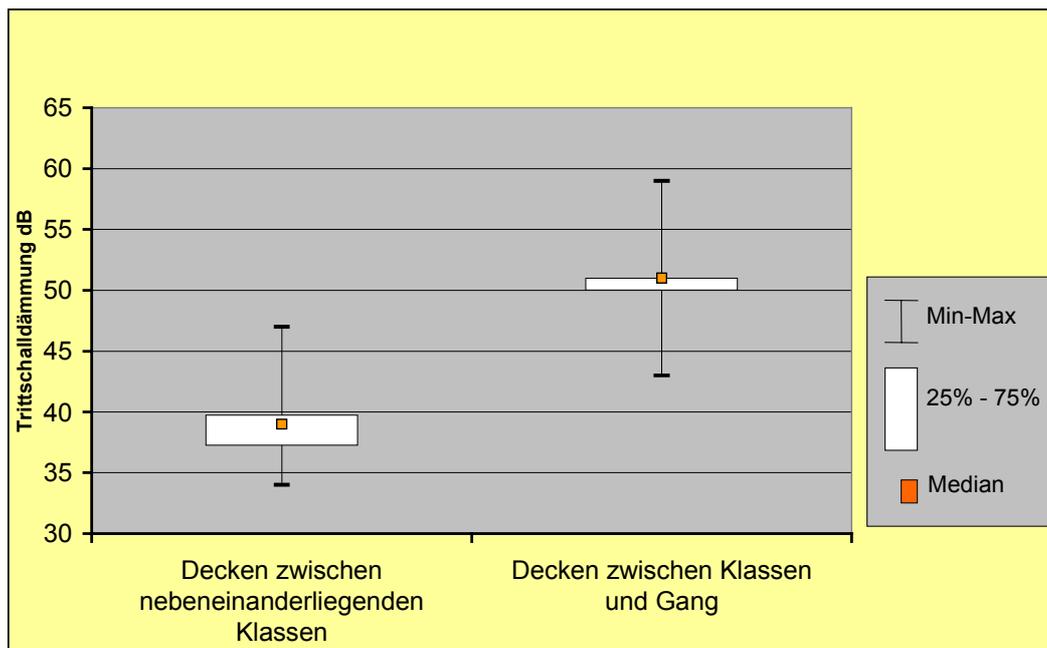


Abb. 12.4: Trittschalldämmung, Vergleich (Erklärung der Darstellung im Anhang 3i)

12.2.4 Luft- und Trittschalldämmung der Containerklassen

Containerklassen werden nur temporär für den Schulbetrieb genehmigt. Für Containerklassen gelten ebenfalls die Mindestanforderungen gemäß § 4 OÖ Bautechnikverordnung. Es wurden zwei Containerklassen unterschiedlichen Typs für die Messung der Luft- und Trittschalldämmung ausgewählt und gemessen. Die fehlende Masse bei Containertrennwänden macht sich bei der Luftschalldämmung vor allem im tiefen Frequenzbereich gegenüber Trennwänden in Massivbauweise bemerkbar. Eine wesentliche Rolle zur Übertragung des Luftschalls besteht einerseits bei der Ausführung der Container (Bodenaufbau, Außenwand, Trennwand, Deckenverkleidung, Klassentüren) sowie andererseits bei der Verlegung von Installationsleitungen. Bei entsprechender Ausführung der Installationsdurchführungen wurden Messergebnisse erzielt, die die Mindestanforderungen der OÖ Bautechnikverordnung erfüllen bzw. überschreiten. Die Messergebnisse der Trittschalldämmung entsprachen bei allen gemessenen Containerklassen der Mindestanforderung.

12.3 Bewertung, Empfehlungen und Maßnahmen

12.3.1 Lärm durch Straßenverkehr

Bei bestehenden Schulen wird bei einer Lärmbelästigung der Schüler durch Verkehrslärm meist nur die Möglichkeit des Einbaus von Schallschutzfenstern bestehen. Hier ergibt sich jedoch die Problematik des Öffnens der Fenster. Daher müssten beim Einbau von Schallschutzfenstern entsprechende Lüftungsanlagen mitgeplant werden.

Eine Verlegung der jeweiligen Straßen wird nur in den seltensten Fällen möglich sein.

Bei neu zu planenden Schulen dürfte die Lärmbelästigung durch Straßenverkehr eigentlich kein Thema sein. Hier sei auf die OÖ Schulbau- und Errichtungsverordnung 1994 hingewiesen:

§ 1 ...(2) Die Schulliegenschaft muss so gelegen sein, dass das Leben und die Gesundheit der Schüler nicht gefährdet, ihre geistige, seelische und sittliche Entwicklung nicht beeinträchtigt und der Schulbetrieb nicht gestört wird; aus der Entwicklung im näheren Umfeld wesentliche nachteilige Beeinflussungen des Schulbetriebes - so insbesondere Lärm, Erschütterungen, Luftverunreinigung und verminderter Lichteinfall - nicht zu erwarten sind.

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

12.3.2 Luftschalldämmung

Eine Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen Klassenzimmern bzw. - falls gewünscht - zwischen Klassenzimmern und Gang kann durch eine umlaufende Lippendichtung sowie einen Türanschlag mit Lippendichtung bei den Türen erreicht werden. Generell sollte auch hier angestrebt werden, laute und schutzbedürftige Räume durch eine geeignete Klassenanordnung soweit wie möglich zu trennen (Klassen nicht neben Werkräumen anordnen).

13 Medizinische Bewertung der Belastungsfaktoren

(Thomas Edtstadler, Hans-Peter Hutter)

13.1 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. Historisch betrachtet ist die sogenannte Schneeberger Lungenkrankheit, über die erstmals im 16. Jahrhundert bei Silberbergarbeitern des Grubenreviers von Schneeberg / Erzgebirge berichtet wurde und die 1879 als Lungenkrebs identifiziert wurde, auf die hohen Radonexposition beim Bergbau in diesen Gruben zurückzuführen. Der Zusammenhang mit der Inhalation kurzlebiger Zerfallsprodukte des Radons wurde erst Anfang der 50er Jahre entdeckt.

Die Inhalation dieser Zerfallsprodukte führt zu einer relativ hohen Strahlenbelastung des Bronchialepithels durch Alphastrahlen. Die Radonexposition stellt somit einen Risikofaktor für die Entstehung von Lungenkrebs dar. Festzuhalten ist, dass in einem Vergleich der Risikoabschätzung durch Tabakrauchen, auf das geschätzte 80-90 % aller Lungenkrebsfälle zurückgeführt werden, ein wesentlich höheres Risiko entsteht als durch die natürliche Exposition durch Radon.

Aus epidemiologischen Untersuchungen bei Uranbergarbeitern wurde eine Korrelation zwischen Radonkonzentration und dem Auftreten von Bronchialkarzinomen hergestellt. Bei den üblicherweise in Innenräumen niedrigeren Konzentrationen sind derartige direkte Zusammenhänge nicht nachzuweisen. 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.

13.2 Chemische Innenraumschadstoffe

13.2.1 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 (Nase, Augen) wirkt. Von empfindlichen Personen wird das Gas bereits ab Konzentrationen von 0,06 mg/m³ wahrgenommen.

Ab dem Konzentrationsbereich von 1 mg/m³ sind irritative Erscheinungen (z.B. Augenreizungen) praktisch von jedem wahrnehmbar. Reizungen der Atemwege, sowie leichtes Stechen in Nase und Rachen sind ab Konzentrationen von 2,5 mg/m³ zu erwarten. Hinsichtlich der chronischen Toxizität werden eine sensibilisierende Wirkung auf den Atemtrakt aber ebenso auf Grund von Tierversuchen ein krebserregendes Potential diskutiert.

13.2.2 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 VOCs 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 Quellen wie z.B. Tabakrauch. Zusätzlich gelangen VOCs auch über die Außenluft in Innenräume.

Wenn keine signifikanten Quellen im Raum oder in der näheren Umgebung einer Wohnung vorhanden sind, übersteigt die Konzentration einzelner VOC nur in seltenen Fällen Werte zwischen 10 und 100 µg/m³. Für viele VOC liegt sie im Mittel sogar unter 10 µg/m³.

Die Gesamtkonzentration an VOC bewegt sich in Wohnungen im Mittel in der Größenordnung von einigen hundert µg/m³. Dies hat sich in neueren Studien in der BRD gezeigt und ist auch durch eine unlängst durchgeführte Studie in Wien belegt.

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.

13.2.3 Pentachlorphenol

Pentachlorphenol war in Holzschutzmitteln enthalten, die bis in die siebziger 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. Grundsätzlich können derartige unspezifische Gesundheitsbeschwerden durch sehr unterschiedliche Ursachen ausgelöst werden. Eine eindeutige Ursachenerhebung für diese unspezifischen Beschwerden ist 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. Der epidemiologische Nachweis, dass PCP auch beim Menschen bösartige Neubildungen hervorrufen kann, konnte bislang nicht erbracht werden. Da eine krebserzeugende Wirkung von PCP im Tierversuch nachgewiesen wurde, gilt grundsätzlich das Minimierungsgebot.

13.2.4 Lindan

Lindan kann ebenso wie PCP 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 für Menschen entspricht der anderer chlorierter zyklischer Kohlenwasserstoffe. Akute Vergiftungen treten nur bei unsachgemäßer Handhabung im direkten Umgang mit der Substanz auf. Die Vergiftungen äußern sich in Störungen des zentralen und peripheren Nervensystems (Übelkeit, Kopfschmerz, Erbrechen, Schwindel, Zittern und Unruhe bis hin zu Krämpfen).

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

13.2.5 Polychlorierte Biphenyle PCB

Polychlorierte Biphenyle - eine aus vielen Einzelkomponenten (Kongeneren) bestehende Gruppe von unpolaren Organochlor-Verbindungen - sind in der Umwelt weit verbreitet. Schlechte Wasserlöslichkeit und hohe chemische Reaktionsträgheit sind verantwortlich für ihre Stabilität, so dass sie trotz Produktionseinschränkungen als Verunreinigungen ubiquitär 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 PCB und PCDF) 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. Gegenwärtig ist von dem Verdacht auszugehen, dass hohe Dosen an

PCB beim Menschen toxisch wirken und in der Folge auch die Entstehung von Tumoren fördern könnten. Laut IARC liegt eine begrenzte Evidenz für PCB als Humankarzinogen und ausreichende Evidenz für Karzinogenität im Tierversuch vor.

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.

13.3 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 Lüftungsstrategien Bedeutung. Von den im Raum befindlichen Personen werden gleichzeitig Körpergerüche und Wasserdampf an die Umgebungsluft abgegeben, so dass für von außen eintretende Personen der Eindruck „verbrauchter“ oder "schlechter" Luft auftritt.

Obwohl CO₂ 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 abnehmender CO₂-Konzentration die sogenannten Sick-Building-Syndrom-assoziierten Beschwerden (z.B. Reizungen und Trockenheit von Schleimhäuten, Müdigkeit, Kopfschmerzen) ebenfalls verringern. Im Organismus wird durch erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen das Atemzentrum angeregt, was zu einer vermehrter Atmung führt.

Kohlendioxid wird als Indikator für „verbrauchte“ Luft herangezogen und dient damit einer orientierenden Abschätzung des Luftwechsels.

13.4 Schimmel

13.4.1 Allgemeines

Schimmelpilze sind in der Umwelt weit verbreitet. Ihre ökologische Aufgabe ist es, organische Substanz abzubauen und den Pflanzen als Nährstoffquelle zugänglich zu machen. Der Mensch ist deshalb an ein Vorkommen von Schimmelpilzen in seiner

Umgebung angepasst und weist gegenüber Schimmelpilzen eine hohe natürliche Resistenz auf.

Entscheidend für die Wirkung von inhalativ aufgenommenen Schimmelpilzen auf den Menschen ist neben individuellen konstitutionellen Faktoren die Pathogenität und die Gesamtzahl der auf den Menschen einwirkenden Pilze sowie die Häufigkeit ihres Auftretens unabhängig davon, aus welcher Quelle sie kommen.

Feuchte Wohnungen und Schimmelpilze stellen ein weit verbreitetes Problem im städtischen Raum dar. Durch Feuchtigkeit begünstigt bilden sich sporulierende Pilzkolonien aus. Die Pilzsporen sind sehr mobil und werden bereits durch kleine Turbulenzen in die Raumluft verfrachtet. Die Sporen werden atembar und können zu verschiedenen Gesundheitsbeeinträchtigungen führen.

13.4.2 Wirkungen auf den Menschen / gesundheitliche Auswirkungen

Schimmelpilze können Allergien und Infektionen hervorrufen sowie toxisch und geruchsbelästigend wirken.

13.4.3 Allergene Wirkung

Grundsätzlich sind alle Schimmelpilze geeignet, Allergien hervorzurufen. Der Dosis-Wirkungszusammenhang ist in diesem Falle sehr komplex. Er hängt u.a. von der individuellen Prädisposition sowie vom allergenen Potential der Schimmelpilzsporen ab. Schimmelpilze, die zahlreiche Sporen an die Raumluft abgeben oder in hohen Konzentrationen in der Umwelt auftreten (z.B. phytopathogene Pilze im Sommer) verursachen häufiger Allergien.

Bei entsprechender Neigung, die im Einzelfall nicht vorhersehbar ist, kommt es bei langandauernder Exposition gegenüber Schimmelpilz-Sporen zur Ausbildung einer Allergie. Diese körperliche Reaktion des Immunsystems kann bis zu einem Bronchialasthma führen und bleibende Schäden an den Atmungsorganen verursachen. Bezüglich Sensibilisierung gegenüber Allergenen und somit der Gefahr der Ausbildung allergischer Krankheitsbilder sind Kinder und Personen mit prädisponierenden Erkrankungen besonders betroffen. Untersuchungen aus Kanada und Großbritannien belegen ein höheres Risiko für Atemwegserkrankungen bei Kindern, die in feuchten, schimmelbefallenen Wohnräumen leben.

13.4.3.1 Toxische Wirkung

Die Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen (z.B. Mykotoxine) können ebenso wie Zerfallsprodukte aus der Zellwand (Glukane) über die Freisetzung von Interleukinen und

sonstigen Entzündungsmediatoren in Haut und Schleimhäuten toxische Wirkung entfalten. Bewohner von mit Schimmelpilz belasteten Räumen können so unter Augenbrennen und Erkältungssymptomen leiden (toxisch irritative Wirkung).

13.4.3.2 Infektiöse Wirkung

Bei Schimmelpilzen handelt es sich um opportunistische Mikroorganismen, d.h. eine Infektion durch solche Keime setzt einen immungeschwächten Organismus voraus oder Vorschäden wie chronische Atemwegserkrankungen. Infektionen durch Schimmelpilze sind sehr selten (Lunge, Nasennebenhöhlen, ZNS) und erfolgen am ehesten inhalativ. Ausgelöst durch Innenraumbelastungen ist nur selten mit einer solchen Wirkung zu rechnen.

13.4.3.3 Geruchsbelästigung

Schimmelpilze haben charakteristische flüchtige Stoffwechselprodukte, die sie an die Umgebungsluft abgeben. Analog zu den flüchtigen organischen Verbindungen, die allgemein als VOC (Volatile Organic Compounds) bezeichnet werden, wurde für die von den Mikroorganismen produzierten VOC der Begriff MVOC (**M**icrobial **V**olatile **O**rganic **C**ompounds) geprägt.

Die MVOC können einem breiten Spektrum unterschiedlicher chemischer Stoffklassen zugeordnet werden (z.B. Alkanen, Alkanolen, Alkenolen, Aldehyden, Ketonen, Terpenen, Karbonsäuren). Bisher wurden etwa 30 solcher Verbindungen identifiziert, die von Schimmelpilzen gebildet werden können. Häufig ist ein muffiger Geruch auf die Bildung von MVOC durch Schimmelpilze oder Bakterien zurückzuführen.

Literatur

2. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (1990) Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (BGBl. I S. 2694)
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema, Bundesgesundheitsblatt 39, 11, S. 422-426
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe (1997) Richtwerte für die Innenraumluft: Pentachlorphenol, Bundesgesundheitsblatt 40, S. 234-236
- Akademie der Wissenschaften (1997) Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien VOC, Band 1, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
- Amt der o.ö. Landesregierung. Informationsbroschüre ‚Förderungen des Landes OÖ im Umweltbereich‘. Land Oberösterreich, Abt. Umweltschutz. Linz, Sept. 1999.
- Amt der o.ö. Landesregierung. Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder. Zusammenfassende Ergebnisse des Messprogramms in Oö. Kindergärten. Land Oberösterreich, Abt. Umweltschutz. Linz, Mai 2001.
- Amt der Tiroler Landesregierung. Richtlinie für bautechnische Maßnahmen zur Vorsorge gegen Radon im Gemeindegebiet Umhausen. Chem.-Techn. Umweltschutzanstalt, Innsbruck, 2001.
- Balfanz et al. (1992) Meßtechnik und Bewertung von halogenorganischen Verbindungen im Innenraum, in Schadstoffbelastung in Innenräumen, VDI Schriftenreihe Band 19, Düsseldorf
- Blessing, Derra (1992) Holzschutzmittelbelastungen durch Pentachlorphenol und Lindan in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Staub-Reinhaltung der Luft 52, S. 265-271
- BMLFUW (2003a) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Allgemeiner Teil, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung)
- BMLFUW (2003b) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – VOC Allgemein, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,

Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

BMLFUW (2003c) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Tetrachlorethen, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

BMLFUW (2003 d) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Styrol, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

BMLFUW (2003 e) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft –VOC Summenparameter (Entwurf), erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

BMWA. Forschungsprojekt ‚Sanierung radonbelasteter Häuser‘. Endbericht zum Forschungsvorhaben F1375 des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten. Red.: Maringer, F.J. Wien, 1998.

Brandl A, Tappler P, Twardik F, Damberger B (2001) Untersuchungen raumlufthygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen, 6. AGÖF Fachkongress Nürnberg 20.- 21.09.2001: Umwelt, Gebäude & Gesundheit, S. 355 – 366

Bundesgesundheitsamt (1977) Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft, BGA-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977

Bundesamt für Gesundheit. Radonhandbuch Schweiz: Technische Dokumentation für Baufachleute, Gemeinden, Kantone und Hauseigentümer. Bern, 2000.

Carsten Ruhe, Taubert und Ruhe GmbH., Halstenbek; Schulraumakustik aus der Sicht der Beratungspraxis.

ECA 1993: Biological particles in Indoor Environments, Commission of the European Communities Brussels, Report No. 12

ECA 1997: Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, ECA-Report No. 19

- Formaldehydverordnung (1990) Bundesgesetzblatt f. d. Rep. Österreich, 194. VO vom 12.2.1990
- Friedmann, H. et al. ‚Endbericht über das Forschungsprojekt zur Ermittlung der Strahlenbelastung der österr. Bevölkerung durch Radonexposition und Abschätzung des damit verbundenen Lungenkrebsrisikos – Österreichstudie. Teil 2 (ÖNRAP-2/2), Oberösterreich. Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz. Wien, Sept. 1994.
- Gams (1998): Schimmelpilze in Innenräumen; Umwelt & Gesundheit Heft 4/1998, 9. Jahrgang
- Grenzwerteverordnung (2001) Verordnung des BM für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und krebserzeugende Arbeitsstoffe
- Huber L, Kahlert J, Klatt M (2002) Die akustisch gestaltete Schule – Auf der Suche nach dem guten Ton; Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M (2002) Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms: results of a survey in Vienna, Austria, in INDOOR AIR '02- Proc. 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate (Monterey, USA, 30.06.-05.07.2002), Vol. 2, pp. 239-243
- IAEA, WHO. International Basic Safety Standards for the Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Wien: IAEA, 1996.
- IBO Österr. Inst. für Baubiologie und –ökologie. Informationsbroschüre ‚Wegweiser für eine gesunde Raumlufte. Die Chemie des Wohnens‘. 2. Auflage. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, Jänner 2000.
- ICRP-Publication 65, Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon, Elsevier Science, 1994.
- Int. Radiation Protection Association, Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem. Proceedings of the 10 th internat. Congress of the IRPA, Hiroshima, May 2000.
- Kommission Innenraumlufthygiene des BGA (1993) Raumklimabedingungen in Schulen, Kindergärten und Wohnungen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Formaldehydkonzentration, in Bundesgesundheitsblatt 2/93

- Krause C et al. (1991): Messung und Analyse von Umweltbelastungsfaktoren in der Bundesrepublik Deutschland – Umwelt und Gesundheit. Band IIIc: Wohn-Innenraum: Raumlufte. Berlin, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bundesgesundheitsamt, WaBoLu-Hefte 4/91
- Lösungsmittelverordnung (1995) Verordnung des Bundesministers für Umwelt über Verbote und Beschränkungen von organischen Lösungsmitteln, BGBl. 872/1995
- Kernöcker Robert, Markowetz Thomas, ‚Gesunde Luft für OÖ Kindergärten – Erhebung der Radonsituation. Teilbereich Bauphysik - Schimmel‘. Linz Juli 2001.
- Kommission der Europ. Union. 90/143/EURATOM: Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt Nr. L 080 vom 27/03/1990 S. 0026-0028.
- Lukassowitz (1990) Polychlorierte Biphenyle in der Innenraumlufte, Bundesgesundheitsblatt 33/90
- Ludowika Huber, Joachim Kahlert, Maria Klante: Die akustisch gestaltete Schule – Auf der Suche nach dem guten Ton; Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 2002.
- Maringer, F.J., Akis, M.C., Kaineder, H., Kindl, P., Kralik, C., Lettner, H., Ringer, W., Rolle, Stadtmann, H., Winkler, R. „Ein robustes und schnelles Verfahren zur Abschätzung der langfristig mittleren Radonkonzentration in einem Gebäude (erweiterte Blower-Door-Methode)“. Tagungsband der 30. Jahrestagung des Fachverbandes f. Strahlenschutz ‚Radioaktivität und Umwelt‘, 28.9.-2. 10 1998, Lindau im Bodensee. Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz. ISSN 1013-4506. Köln: TÜV Verlag GmbH, 1998. pp 435-440.
- Maringer, F.J., Heiss, G., Jung, M. Ermittlung des geogenen Radonpotentials mittels eines geografischen Informationssystems und in-situ Bodenluftmessungen – Pilotstudie (ELORA). Endbericht zum Forschungsauftrag BKA GZ 353.152/1-VI/9/99. Wien, 2000.
- Markowetz Thomas. Gebäudedichtheit an o.ö. Turnhallen. Amt der o.ö. Landesregierung, Umwelt, Lärm- und Strahlenschutz. Linz, März 1997
- ÖNORM B 2608 (1995) Sporthallen – Richtlinien für Planung und Bau
- ÖNORM B 8115-3 (1996) Schallschutz und Raumakustik im Hochbau; Teil 3: Raumakustik

- ÖNORM S 5250-1 (1.11.2002): Zählstatistische Aspekte bei Radioaktivitätsmessungen.
Teil 1: Messunsicherheiten, Erkennungs- und Nachweisgrenzen.
- ÖNORM S 5280-1 (1.6.1998): Radon. Messverfahren und Anwendungsbereiche.
- PCP-Verordnung (1991) Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von Pentachlorphenol (PCP) vom 5.2.1991
- Produktsicherheitsbeirat (1985) Empfehlung des Produktsicherheitsbeirats des Bundesministeriums für Familie, Jugend und Konsumentenschutz, Sitzung vom 4.3.1985
- Rat der Europäischen Union. Richtlinie 96/29/EURATOM zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Brüssel, Mai 1996.
- Ringer, W., et al., Radon in oberösterreichischen Kindergärten. 18. ÖSRAD-Tagung, Wien, 6. Juni 2002
- Roßkamp E (1991) Dioxine und polychlorierte Biphenyle in der Innenraumluft, Öffentliches Gesundheitswesen 53, S. 392-397
- Ruhe C, Taubert und Ruhe GmbH., Halstenbek. Schulraumakustik aus der Sicht der Beratungspraxis.
- Sagunski H (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol, Bundesgesundheitsblatt 39 – 11
- Sagunski H (1998) Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol, Bundesgesundheitsblatt 41 - 9
- Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Braun P, Plieninger P, Rüden H (2001) VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum von 1988 bis 1999, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 61: 26-38
- Seifert B (1999) Richtwerte für die Innenraumluft – Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 3-99
- Senkpiel et al (1999): Die Bewertung von feuchte- und schimmelpilzbelasteten Innenräumen anhand von Orientierungswerten, Leitlinien und Empfehlungen in AGÖF Tagungsband: Ökologische Bauen - engeriesparend, emissionsarm und zukunftsfähig. September 1999 Bremen

- Senkpiel, Ohgke (1992): Beurteilung der Schimmelpilzsporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen, Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 113/1
- Sperker, S., Besprechungsprotokoll vom 29. Juni 2000, Amt der o.ö. Landesregierung, Abt. Umweltschutz, Lärm- und Strahlenschutz
- Strahlenschutzkommission. Empfehlung der Strahlenschutzkommission betreffend „Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen“. In: Radon in Österreich 1993. Forschungsbericht des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, 3/94. SS VII –XII.
- Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz, BGBl. I 146/2002
- Tappler, P. ‚Gesunde Luft für OÖ Kindergärten – Erhebung der Radonsituation. Teilbereich Innenraumschadstoffe‘. Wien, 29. Juni 2000.
- Twrdik, F., Tischvorlage zur gemeinsamen Sitzung ‚Gesunde Luft in Oberösterreichs Kindergärten – weitere Vorgangsweise‘. Wien, 27. April 2000.
- WHO (1983) Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
- WHO (1998) Indoor Air Quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111. Copenhagen: World Health Organisation, Regional Office for Europe

Anlagen

- Anlage 3a: E-mail-Text zur ersten Aussendung
- Anlage 3b: Begleitschreiben Land OÖ zur ersten Aussendung
- Anlage 3c: Fragebogen
- Anlage 3d: Begleitschreiben Land OÖ zur ersten Aussendung Bereich Magistrat Linz
- Anlage 3e: Begleitschreiben Magistrat Linz zur ersten Aussendung
- Anlage 3f: Erinnerungs-E-mail
- Anlage 3g: Zwischeninformation für die Erhalter nach Erstauswertung
- Anlage 3h: Diagramme der Fragebogenauswertung
- Anlage 3i: Box-Plot-Darstellung

- Anlage 4a: Begeleitschreiben zur Radonmessung (ARCS)
- Anlage 4b: Begeleitschreiben zur Radonmessung (AGES Linz)
- Anlage 4c: Aufstellanleitung für Radon-Messdosen Elektret
- Anlage 4d: Aufstellanleitung für Radon-Messdosen Track-Etch
- Anlage 4e: Formblatt für Radonmessungen
- Anlage 4f: Einzelmessergebnisse Radon - Radonrisikogebiete und Nachbargemeinden
- Anlage 4g: Einzelmesserg. Radon - außerhalb Radonrisikogebiete und Nachbargem.

- Anlage 5: Einzelergebnisse der Messungen chemischer Luftschadstoffe

- Anlage 8a: Einzelergebnisse Schimmel