



EMPFEHLUNGEN

**zur Verbesserung der Innenraumluftqualität,
Raumakustik und
bauphysikalischen Qualitätsfaktoren**

**begründet auf den Studien
"Gesunde Luft für Oberösterreichs
Kinderbetreuungseinrichtungen,
Kindergärten,
Pflicht-, Berufs- und landwirtschaftliche Fachschulen"**

VERSION JULI 2003

Impressum:

Land Oberösterreich

Umwelt- und Anlagentechnik

Aufgabenbereich Umwelttechnik

Leitung: Dipl. Ing. Erwin Nadschläger

4020 Linz, Stockhofstraße 40

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

e-Mail: u-ut.post@ooe.gv.at

Homepage: www.ooe.gv.at/umwelt

Inhalt

1	Motivation und Ziele	7
2	Medizinische Gesichtspunkte	9
2.1	Radon im Innenraum	9
2.2	Chemische Innenraumschadstoffe	9
2.2.1	Formaldehyd	9
2.2.2	Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	10
2.2.3	Pentachlorphenol (PCP)	10
2.2.4	Lindan (HCH)	11
2.2.5	Polychlorierte Biphenyle PCB	12
2.2.6	Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	12
2.3	Schimmel	13
2.3.1	Allgemeines	13
2.3.2	Wirkungen auf den Menschen / gesundheitliche Auswirkungen	13
2.3.3	Allergene Wirkung	13
2.3.4	Toxische Wirkung	14
2.3.5	Infektiöse Wirkung	14
2.3.6	Geruchsbelästigung	14
3	Grundsätze und allgemeine Maßnahmen	17
3.1	Planung von Neubauten	17
3.1.1	Radon	17
3.1.2	Chemische Luftschadstoffe	19
3.1.3	Belüftung der Räume	20
3.1.4	Schimmelbildung	21
3.1.5	Zugluft und Gebäudedichtheit	21
3.1.5.1	Allgemeines	21
3.1.5.2	Typische Mängel	22
3.1.5.3	Tipps für luftdichte Konstruktionen	26
3.1.6	Akustik	28
3.1.7	Luft- und Trittschalldämmung:	35
3.1.8	Lärmbelastung	35
3.2	Nutzung	37
3.2.1	Radon	37
3.2.2	Chemische Luftschadstoffe	37
3.2.3	Belüftung der Räume	37
3.2.4	Schimmelbildung	39
3.2.5	Zugluft und Gebäudedichtheit	39

3.2.6	Akustik _____	40
3.2.7	Lärmbelastung _____	40
3.3	Sanierung _____	41
3.3.1	Radon _____	41
3.3.2	Chemische Luftschadstoffe _____	49
3.3.3	Schimmelbildung _____	50
3.3.3.1	Sanierung eindringender Feuchtigkeit von außen _____	50
3.3.3.1.1	Analyseverfahren _____	51
3.3.3.1.2	Nachträgliche Horizontalabdichtung _____	52
3.3.3.1.3	Nachträgliche Vertikalabdichtung: _____	58
3.3.4	Zugluft und Gebäudedichtheit _____	63
3.3.5	Akustik _____	63
3.3.6	Lärmbelastung _____	64
4	Weitere Informationen und Unterlagen _____	65
4.1	Innenraumluft allgemein _____	65
4.2	Radon _____	65
4.3	Akustik _____	65

Vorwort

Die vorliegenden Empfehlungen zur Verbesserung der Innenraumluft, Raumakustik und bauphysikalischen Qualitätsfaktoren dienen der Information von Nutzern, Gebäudeerhaltern und Planern.

Sie geben dem Anwender einen Überblick über den Stand des Wissens und der Technik und stellen ihm spezifische und konkrete Abhilfe- und Verbesserungsmaßnahmen zur Verfügung.

Zukünftige wesentliche neue Erkenntnisse über die jeweiligen Qualitätsfaktoren werden im Zuge von überarbeiteten Fassungen veröffentlicht.

Die Koordinatoren und Autoren dieser Empfehlungen wären den Anwendern dankbar, wenn sie ihre praktischen Erfahrungen zur Verfügung stellen, dass diese in die Überarbeitung der Empfehlungen berücksichtigt werden können und so der Allgemeinheit zugänglich sind.

1 Motivation und Ziele

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

Zahlreiche Befindlichkeitsstörungen und Erkrankungen werden auf schlechtes Raumklima zurückgeführt. Schadstoffe in Innenräumen werden prinzipiell dann als eine besondere Gefahr angesehen, wenn Risikogruppen wie Kinder und Jugendliche, die oft empfindlicher reagieren, betroffen sind.

Das Lüftungsverhalten der Raumnutzer ist der technologisch bedingten steigenden Dichtheit der Gebäude nicht immer ausreichend angemessen. Menschliche Aktivitäten beeinflussen nachhaltig die Innenraumluftqualität z.B. durch Stoffwechselprodukte, die über die Atmung (CO₂) und die Haut abgegeben werden, ebenso durch das Reinigen der Innenräume sowie durch Hobby- und Bastelaktivitäten. Baustoffe und Materialien der Innenausstattung können zusätzliche Belastungsfaktoren darstellen.

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

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

Wie internationale Studien belegen, mindern erhöhte CO₂-Konzentrationen in Innenräumen die Konzentrationsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit. Auf Basis der Untersuchungen wurde ein Rechenmodell entwickelt, das die Planung einer CO₂-optimierten Nutzung von Unterrichtsräumen bei vorgegebenen Rahmenbedingungen (Raumgröße, Schüleranzahl etc.) ermöglicht.

Für die in Kinderbetreuungseinrichtungen, Kindergärten und Schulen untergebrachten Kinder und Jugendliche gibt es keine gesetzlichen Regelungen in Bezug auf die Luftqualität. Auch für Arbeitsplätze in Schulen existieren derzeit keine expliziten gesetzlichen Grenzwerte für Schadstoffe.

Studien zeigen, dass Luftschadstoffe in Kindergärten und Schulen durch nicht ausreichende Belüftung angereichert werden. Dadurch entsteht eine vielfach höhere Belastung als im Außenbereich. Daher ist die erste und wesentliche Maßnahme zur Verbesserung der Innenraumluftqualität ein ausreichendes und den Nutzungsbedingungen angepasstes Lüften der Räume. In Einzelfällen sind jedoch auch darüber hinausgehende Maßnahmen bis hin zu bautechnischen Sanierungen erforderlich.

Die langfristige Sicherung einer hohen Innenraumqualität in Kinderbetreuungseinrichtungen, Kindergärten und Schulen muss bei der Planung, Errichtung, Ausstattung und Einrichtung bei Neubauten ansetzen. Daher ist diesem Bereich ein besonderes Augenmerk zu schenken.

2 Medizinische Gesichtspunkte

2.1 Radon im Innenraum

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

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

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

2.2 Chemische Innenraumschadstoffe

2.2.1 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 Stechen in Nase und Rachen sind weitere Symptome. Hinsichtlich der chronischen Toxizität werden eine sensibilisierende Wirkung auf den Atemtrakt aber ebenso auf Grund von Tierversuchen ein krebserregendes Potential diskutiert.

2.2.2 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Für viele VOC liegt sie im Mittel sogar unter 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Gesamtkonzentration an VOC bewegt sich in Wohnungen im Mittel in der Größenordnung von einigen hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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.

2.2.3 Pentachlorphenol (PCP)

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, Atem-

beschwerden, 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.

2.2.4 Lindan (HCH)

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.

2.2.5 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 Humankanzerogen und ausreichende Evidenz für Kanzerogenität 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.

2.2.6 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

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.

2.3 Schimmel

2.3.1 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.

2.3.2 Wirkungen auf den Menschen / gesundheitliche Auswirkungen

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

2.3.3 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 Raumlufte 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.

2.3.4 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).

2.3.5 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.

2.3.6 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 (Microbial Volatile Organic Compounds) 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.

3 Grundsätze und allgemeine Maßnahmen

3.1 Planung von Neubauten

3.1.1 Radon

Die bautechnischen Radonvorsorgemaßnahmen bei Neubauten in Radongebieten (Radonrisikokarte Oberösterreichs ersichtlich unter www.ooe.gv.at/umwelt) oder auf Bauplätzen mit erhöhtem Radonpotential sollen einerseits das Eindringen des Radons aus dem umgebenden Erdreich in das Gebäude über erdberührte Bauteile verhindern und andererseits den Druckgradienten innerhalb des Gebäudes reduzieren. Dadurch soll erreicht werden, dass ein durchschnittlicher Radon-222-Jahresmittelwert von 200 Bq/m³ unterschritten wird.

Weiters ist durch geeignete Maßnahmen bei der Errichtung des Gebäudes vorzusorgen, dass die Radonsicherheit für die Gebäudelebensdauer im Bedarfsfall – z.B. bei Materialermüdung der Radonbarrieren - mit angemessenen Mitteln wiederhergestellt werden kann.

Die bauphysikalischen und bautechnischen Prinzipien zur Radonvorsorge eines neu zu errichtenden Gebäudes sind - gereiht nach ihrer Bedeutung für den Vorsorgeeffekt – im folgenden zusammengestellt.

- a) Dauerhafte und umfassende Abdichtung der erdberührten Bauteile gegen Radon aus dem umgebenden Erdreich. Diese Radonbarriere ist sowohl flächenbezogen (z.B. durchgehende Fundamentplatte) als auch in konstruktiv bedingten Fugen und Spalten sicherzustellen (z.B. Installationsdurchführungen).
- b) Größtmögliche Vermeidung und/ oder umfassende Abdichtung aller vertikalen Verbindungen zwischen Kellergeschoss und dem darüberliegenden Geschöß. Das betrifft die Kellertüre, falls diese innerhalb des Hauses liegt, sämtliche Installationskanäle, -Rohre, -Schächte und Öffnungen als auch konstruktiv bedingte (potentielle) Bauteilfugen in der Kellerdecke.
- c) Soweit konstruktiv möglich, sind vertikale Verbindungen zwischen den Geschoßen zu reduzieren, da diese besonders im Winterhalbjahr durch den thermischen Auftrieb der Innenluft den vertikalen Druckgradienten im Gebäude und damit auch die Saugwirkung im Übergangsquerschnitt Kellerbauteile / Erdboden verstärkt.

- d) Einbau einer durchgängigen Rollierungslage unterhalb des Gebäudes (z.B. Fundamentplatte) auf der gesamten Fläche zum möglichen nachträglichen Einbau einer Unterbodenabsaugung. Diese Maßnahme dient zur langfristigen Absicherung der Radonreduktion mittels haustechnischer Unterstützung, falls der passive Radonschutz (Abdichtung) zu einem späteren Zeitpunkt durch Alterung und Ermüdung der Materialien oder sonstigen Veränderungen am Gebäude (z.B. Spaltenbildung durch partielle Gebäudesetzungen) verloren geht.
- e) Es ist eine dem Stand der Technik entsprechende Luftdichtheit der Gebäudehülle sicherzustellen, damit der vertikale Druckgradient im Haus durch meteorologische Einflüsse (Temperatur, Wind) begrenzt bleibt. Das betrifft sowohl die Anforderungen an die Dichtheit von Fenstern und Außentüren sowie der Gebäudedecke im obersten Geschoß (Dachkonstruktion) als auch von anderen Bauelementen der Gebäudehülle.
- f) Bei Einbau von Abluftventilatoren innerhalb des Gebäudes (z.B. WC-Abluft, Dunstabzug in Küchen) ist eine ausreichende Zufuhr von Außenluft sicherzustellen, damit innerhalb des Gebäudes kein Unterdruck entsteht.
- g) Bei kontrollierten Lüftungsanlagen ist darauf zu achten, dass ein geringfügiger Überdruck (wenige Pa) erzielt wird.

Eine wesentliche Planungsgrundlage für Gebäude hinsichtlich technischer Vorsorgemaßnahmen gegen Radon stellt die ÖNORM S5280-2 (Vornorm) "Radon Teil 2: Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden" (Österr. Normungsinstitut, Wien, 2003) dar. Darüber hinaus steht insbesondere für die Anwendung in Radongebieten und auf Bauplätzen mit hohem Radonpotential die "Richtlinie für bautechnische Maßnahmen zur Vorsorge gegen Radon bei Neubauten im Gemeindegebiet Umhausen" (Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck, 2001) zur Verfügung.

Zusätzliche ausführliche Informationen bieten das "Radon-Handbuch Deutschland" (2001) und das "Radonhandbuch Schweiz" (Radon: Technische Dokumentation, 2000). Im Internet werden Informationen zum Thema Radon und Radonvorsorgemaßnahmen vom Labor für physikalische Chemie der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol unter

www.provinz.bz.it/umweltagentur/2908/radon/index_d.htm sowie vom Bundesamt für Gesundheit, Bern unter www.ch-radon.ch bereitgestellt.

3.1.2 Chemische Luftschadstoffe

Bei der Planung von Neubauten sollte auf die Auswahl emissionsarmer Baustoffe und Materialien zur Innenausstattung Wert gelegt werden. Als kritische Bereiche sind vor allem größere Flächen wie Fußbodenbeläge, Oberflächenbeschichtungen und Möbel zu nennen. Materialien, die in direktem Kontakt mit der Innenraumluft stehen, weisen in der Regel eine kurzfristig hohe, in der Folge stark abnehmende Emission auf. Materialien wie Feuchteabdichtungen, die zwischen anderen Bauteilen angeordnet sind und nicht in Kontakt mit der Raumluft stehen, können dagegen über einen längeren Zeitraum zu erhöhten Belastungen der Raumluft führen. Materialien, die zu einer starken, länger andauernden Geruchsbelästigung führen, sind prinzipiell zu vermeiden.

Hilfestellung zur Produktauswahl geben diverse Baudatenbanken und Systeme zur Bewertung von Bauprodukten. Empfehlenswert sind in jedem Fall Materialien, die mit dem Umweltzeichen des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit dem Prüfsiegel des Österreichischen Instituts für Baubiologie und Ökologie oder mit einem anderen seriösen Prüfsiegel ausgestattet sind.

Baumaßnahmen sind so zu planen, dass zwischen Fertigstellung und Bezug der Räume ein ausreichender Zeitraum zum Ablüften von Restemissionen vorhanden ist. Dies gilt vor allem für Materialien, die in der ersten Zeit nach Einbau höhere Konzentrationen an Schadstoffen oder geruchsintensiven Verbindungen an die Raumluft abgeben.

In der Umweltzeichen - Richtlinie „Schul- und Bildungseinrichtungen“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird ebenfalls in mehreren Punkten auf ein schadstoffarmes Innenraumklima eingegangen. Die entsprechenden Empfehlungen sind, wenn möglich, zu berücksichtigen.

Bei Verwendung großflächiger Bauteile aus Holzwerkstoffen (Möbel, Verkleidungen etc.) empfiehlt es sich, auf möglichst formaldehydarme bzw. formaldehydfreie Materialien zurückzugreifen. Dies betrifft Holzwerkstoffe, deren maximale Formaldehydabgabe in der Formaldehydverordnung geregelt ist, als auch Materialien, deren Emission nicht gesetzlich geregelt ist (z.B. Fertigparkettböden).

Es wird empfohlen, die Verwendung lösungsmittelhaltiger Produkte bei Neubauten nach Möglichkeit einzuschränken. Risikofaktoren sind sogenannte Bitumenanstriche, die häufig in Kombination mit Bitumenpappen zur Abdichtung gegen Wasser und Feuchtigkeit im Boden- und Deckenbereich eingesetzt werden sowie Möbellacke.

Bei der Auswahl von Oberflächenbeschichtungen, Klebern und Bautenanstrichen wäre auf lösungsmittelarme, wasserverdünnbare Produkte zurückzugreifen und dies auch in der Ausschreibung zu berücksichtigen. Bei der Anwendung von Naturstoffen ist besonders auf eine fachgerechte Anwendung zu achten, um die Bildung von (teilweise geruchsintensiven) Sekundärprodukten zu vermeiden. Möbellacke sollten so aufgebracht werden, dass der typische „Neugeruch“, der vor allem auf werksseitige, lösungsmittelhaltige Beschichtungen zurückzuführen ist, längstens zwei Wochen nach Montage nicht mehr wahrnehmbar ist.

Als starke, persistente Quelle von VOC (und teilweise von Formaldehyd) 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 Säurehärter) beschichtet. Es wird daher empfohlen, lösungsmittelarme Rezepturen (Kunstharze oder Naturharze) einzusetzen.

3.1.3 Belüftung der Räume

Eine ausreichende Frischluftzufuhr ist die Grundvoraussetzung für eine optimale Nutzung geistiger Ressourcen. Bei zukünftigen Schulneubauten kann eine kontrollierte Raumlüftungsanlage zur automatisierten Sicherstellung eines ausreichenden Luftaustausches und Abfuhr des ausgeatmeten CO₂ und zur Reduktion der Lärmbelastung von außen beitragen. Diese Maßnahme sollte in messtechnisch begleiteten Pilotprojekten praktisch erprobt werden.

Der Einbau von einfachen CO₂-Messgeräten mit optischen und unter Umständen akustischen Warneinrichtungen in den dauernd genutzten Räumen kann den Nutzern die Notwendigkeit regelmäßigen Lüftens vor Augen führen.

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

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. Das Rechenmodell kann auch für andere Räume (Vortragsräume, Wohnräume etc.) angewendet werden.

Bei Interesse an diesem Rechenmodell ist mit den Sachverständigen des Landes Oberösterreich (Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik) Kontakt aufzunehmen.

3.1.4 Schimmelbildung

Die einst praktizierte Maßnahme, den Bau über den Winter austrocknen zu lassen, wird nicht mehr ausgeführt. Somit muss jeder Neubau zunächst als ein feuchtes Bauwerk betrachtet werden, da in den meisten Baustoffen (z.B. Gips, Mörtel, Beton) erhebliche Mengen an Wasser gespeichert sind. Es ist daher wichtig, die Restfeuchte aus dem Gebäude durch erhöhte Beheizung und Belüftung der Räume auszutrocknen. Die vorhandene Restfeuchte in den Bauteilen kann selbst bei normaler Lüftung zu Schimmelbildung führen.

Bei Neubezug von Wohnungen sollten diffusionsoffene Farben und keine Tapeten verwendet werden. Intensives Lüften und Heizen ist bei diesen Wohnungen besonders wichtig.

3.1.5 Zugluft und Gebäudedichtheit

3.1.5.1 Allgemeines

Grundsätzlich ist die Gebäudehülle aus bauphysikalischen Gründen luftdicht auszuführen. Die Luftdichtheit von Wohngebäuden ist in Oberösterreich gesetzlich geregelt. Demnach darf bei Wohngebäuden mit einer Fensterlüftung bei einer Druckdifferenz von 50 Pa der Luftwechsel von 3 h^{-1} nicht überschritten werden. Bei Gebäuden mit einer mechanischen Belüftung gilt ein maximaler Luftwechsel von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$. Auch bei öffentlichen Gebäuden sollten vor der Errichtung Anforderungen an die Luftdichtheit festgelegt werden.

Bei Konstruktionswechsel und Durchdringungen ist ein besonderes Augenmerk auf die Dichtheit zu legen. Vor allem bei Konstruktionsausführung, bei denen die tragenden Elemente sichtbar bleiben sollen (Dachstuhl), ist eine optimale Luftdichtheit nur bei besonderer Beachtung eines Dichtheitskonzeptes zu erzielen.

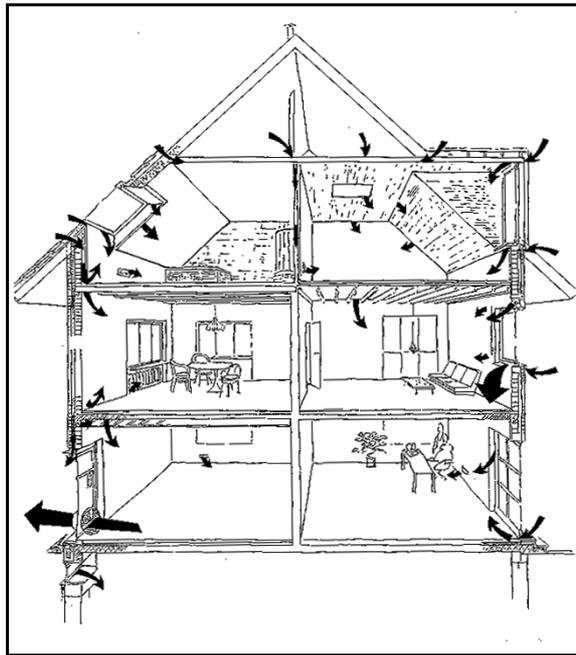


Abb. 1: Typische Undichtheiten Quelle: Energie- und Umweltzentrum am Deister, Springe-Eldagsen

Grundsätzlich ist eine durchgängige raumseitige dauerhafte luftdichte Ebene vorzusehen. Die feuchtetechnische Qualität dieser Ebene ist dabei sekundär und vor allem von der Gesamtkonstruktion abhängig.

3.1.5.2 Typische Mängel

Dachkonstruktionen

Bei ausgebauten Dachgeschoßen ist raumseitig je nach Konstruktion eine Dampfsperre oder eine Windbremse erforderlich. Dabei ist auf eine ordnungsgemäße Verklebung bzw. Abdichtung der Stoßstellen zu achten. Durch Risse und Fugen in der raumseitigen Verkleidung kann kalte Außenluft ungehindert nach innen bzw. warme Raumluft nach außen strömen.

Praktisch bei allen Konstruktionswechseln können solche Fugundichtheiten auftreten:

- Beim Übergang zwischen Dachschräge und Wand oder Kamin
- Beim Übergang zwischen Dachschräge und Spitzboden
- bei der Einbindung von Gaupen
- bei Konstruktionselementen wie Sparren, Zangen, Pfetten usw. sichtbar ausgeführt werden
- im Bereich des Überganges zwischen Dachschräge und Übermauerung

In Abb. 2 ist das Thermogramm eines Dachausbaues mit einer sichtbaren Zangenkonstruktion dargestellt. Die grünen, blauen und schwarzen Flächen zeigen die massiven Undichtheiten.

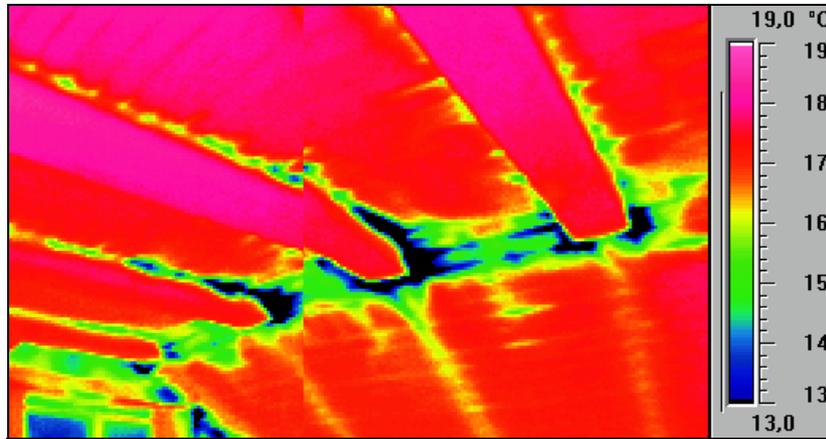


Abb. 2: Innenthermogramm Übergang zwischen Dachschräge, Spitzboden und Giebelwand

Außenwände

Bei den heute üblichen massiven und leichten Außenwandkonstruktionen werden die gesetzlich geforderten Wärmedämmwerte durchwegs erreicht. Nicht beachtet wird jedoch oft, dass Wandkonstruktionen auch Undichtheiten aufweisen können.

Speziell bei Ziegelmauerwerken ist dies zu beobachten. Ziegel weisen aus wärmetechnischen Gründen Hohlkammern auf. Diese stehen, wenn die Mörtelfuge nicht vollflächig ausgeführt wurde, im gesamten Gebäuden miteinander in Verbindung. Durch (unverputzte) vorstehende Ziegelreihen aber auch durch Risse im Außenputz können Luftverbindungen zwischen innen und außen entstehen. Über die Elektroinstallation, die in das Hohlkammersystem eingestemmt ist, kann es dann zu Zugerscheinungen kommen.

Leichte Außenwandkonstruktionen (Holzständer- oder Stahlkonstruktionen) sind raum- und außenseitig mit winddichten Materialien (Folien, Baupapier, Faserplatten usw.) abzudichten. In der Fläche ist dies meist auch ohne größere Probleme möglich. Schwachstellen treten häufig bei Konstruktionsübergängen auf. Im Anschlussbereich zwischen Wand und Fußboden bzw. Decke werden oft die Folien nicht dicht angeschlossen, was Zugerscheinungen zur Folge haben kann.

Einbindung von Dachflächenfenstern

Bei der Einbindung von Dachflächenfenstern treten sehr häufig massive Fugenundichtheiten auf. Oft sind die Undichtheiten zwischen Fensterstock und Dachkonstruktion wesentlich höher als jene zwischen Fensterflügel und Fensterstock, obwohl dort konstruktionsbedingt infolge der Dichtung eher Undichtheiten zu erwarten wären. Diese Undichtheiten sind vorwiegend auf einen mangelnden Fenstereinbau zurückzuführen. Wie im folgenden Thermogramm erkennbar ist können durch Undichtheiten auch andere Konstruktionsbereiche beeinflusst werden. Bei dieser Dachfläche dürfte, zusätzlich zu den Undichtheiten beim Fenster, die Wärmedämmung abgerutscht sein.

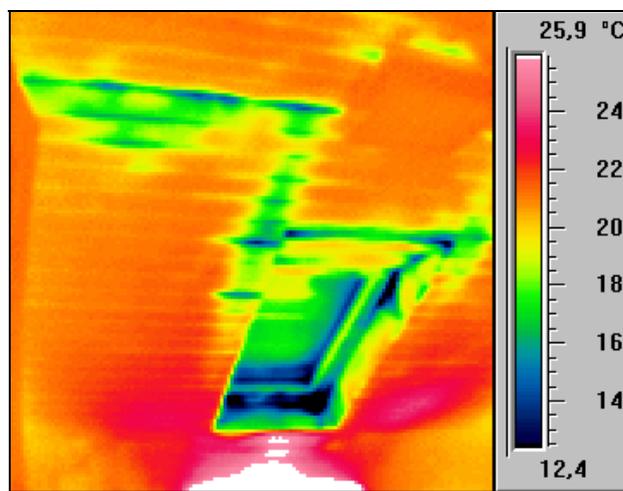


Abb. 3: Undicht eingebautes Dachflächenfenster

Dachbodentreppen

Auch Dachbodentreppen werden unzureichend eingebaut. Da bei diesen Elementen oft auch keine Dichtungen vorhanden sind, sind hohe Undichtheiten vorprogrammiert. Die warme Raumluft kann über diese oft bis zu mehreren Millimetern breiten Fugen entweichen. Massive Wärmeverluste und auch Kondensationsprobleme können die Folge sein.

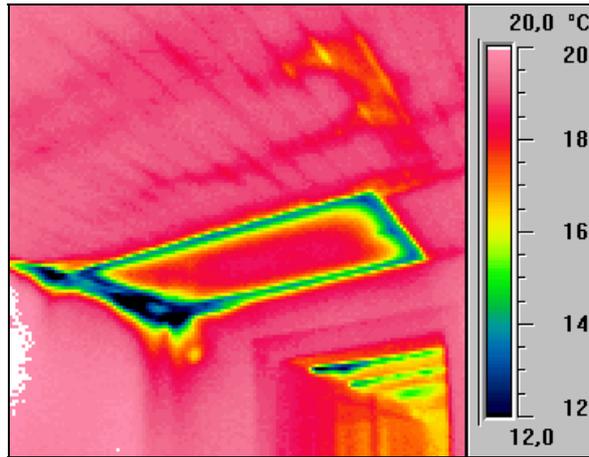


Abb. 4: Massive Undichtheiten bei einer Dachbodentreppe

Elektroinstallation

Die Rohre der Elektroinstallation sind im gesamten Haus verlegt. Luftverbindungen zwischen den Geschoßen und Räumen sind damit gegeben. Oft werden zusätzlich Dampfsperren durchbrochen. Zugscheinungen bei den Steckdosen sind so die Folge. Wird ein Installationsschlauch in den Dachboden verlegt, kann es zusätzlich zu einer Auskondensation der Raumlufffeuchtigkeit kommen. Feuchteprobleme sind dann die Folge.



Abb. 5: Zugluftmessung bei einer Steckdose

Neben der Planung ist aber auch bei der Bauausführung auf die Luftdichtheit zu achten. Sowohl bei der Herstellung als auch beim Zusammenspiel verschiedener Gewerke können erhebliche Mängel entstehen.

3.1.5.3 Tipps für luftdichte Konstruktionen

Konstruktionen müssen zweifach gegen Luftundichtheiten geschützt werden. Zum Einen ist eine außenseitige Winddichtung erforderlich. Diese muss diffusionsoffen und erforderlichenfalls wasserabweisend sein. Die raumseitige Dampfbremse bzw. Dampfsperre muss vollflächig luftdicht ausgeführt werden. Auch bei Anschlüssen und Übergängen ist auf eine optimale Luftdichtheit zu achten.

Holzriegelwände

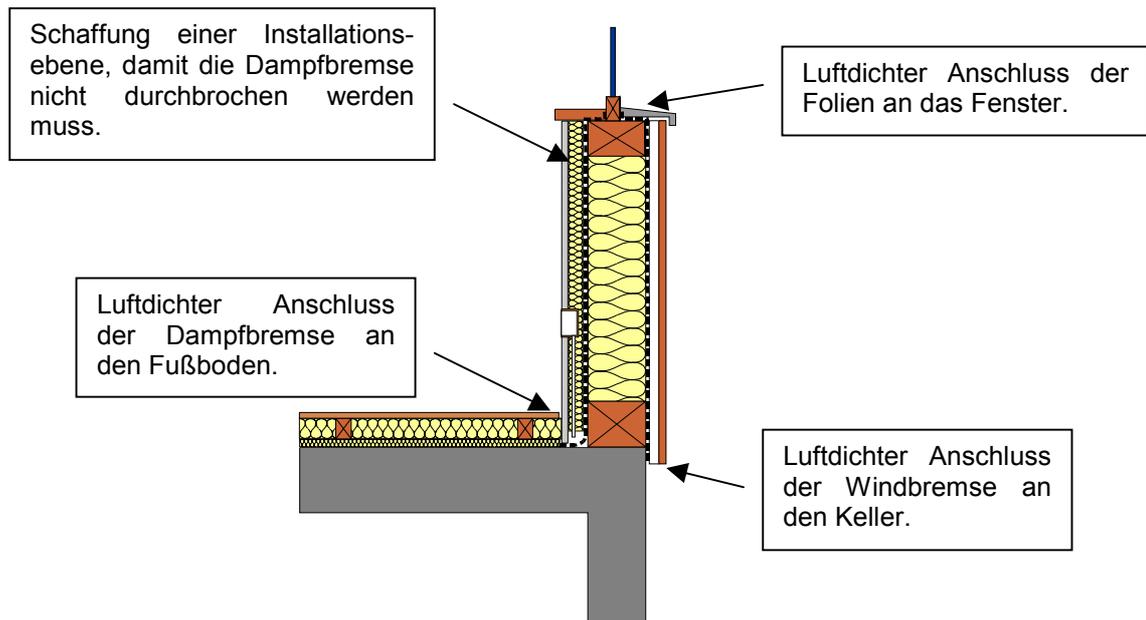


Abb. 6: Schema einer Holzriegelwand

Dachausbau

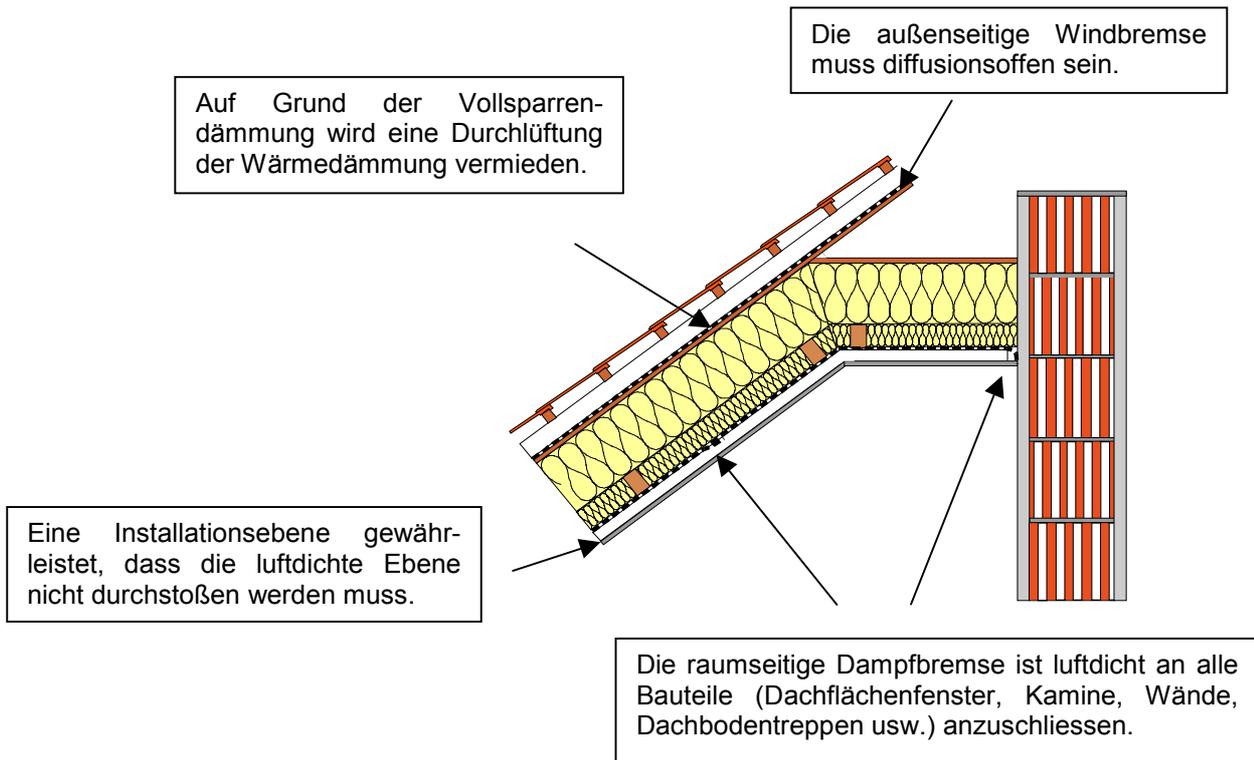


Abb. 7: Schema Dachausbau

Ziegelmauerwerk

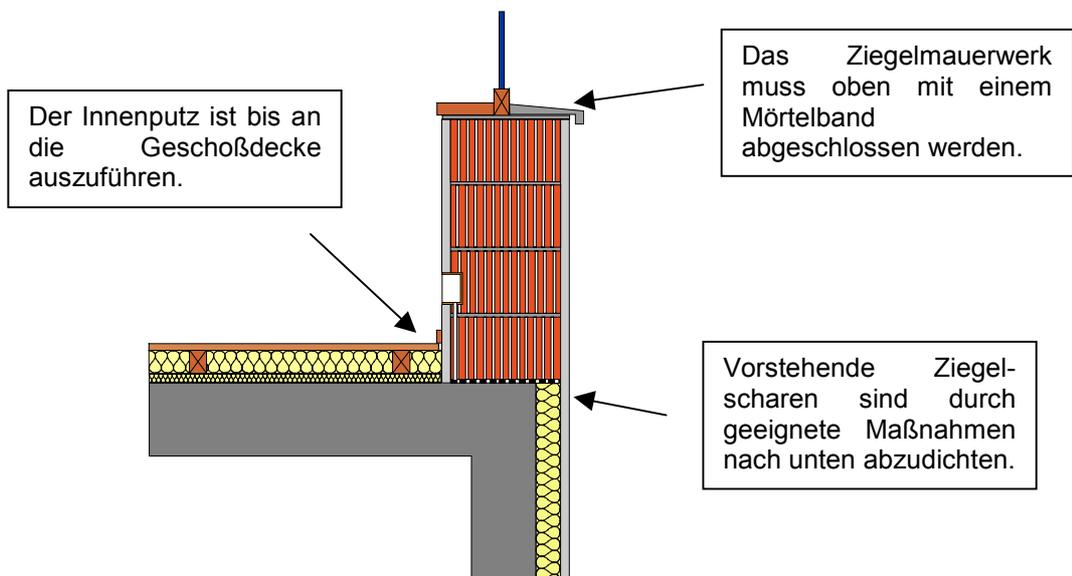


Abb. 8: Ziegelmauerwerk

3.1.6 Akustik

Von den verantwortlichen Planern wird häufig die optische Gestaltung der Klassenräume in den Vordergrund gestellt. Vorrangig ergibt sich diese Situation bei Neubauten, bei denen keine akustische Grundabsorption vorgesehen wurde. Bei der Planung sollte daher frühzeitig eine akustische Beratung beigezogen werden. So können Form und Material überprüft und optimiert werden. Aus Erkenntnissen einiger Studien lassen sich klare akustische Anforderungen für Klassenräume ableiten. Die Lautstärke von Fremdgeräuschen muss begrenzt werden, Direktschall und frühe Reflexionen sollen gefördert werden. Späte Raumreflexionen sind hingegen weitgehend zu vermeiden und die Nachhallzeit ist kurz zu halten. Besondere Anforderungen gelten für Hörbehinderte. Zu berücksichtigen gilt, dass auch bei normalhörenden Kindern ein Anteil von bis zu 20 % durch eine Erkältung temporär ein etwas vermindertes Hörvermögen aufweisen. Die Sprachverständlichkeit hängt neben der Nachhallzeit als dem ältesten bekannten raumakustischen Beurteilungskriterium auch vom Störschallpegel im Raum und von den Reflexionen ab. Sie kann entsprechend der Raumnutzung durch das gezielte Einbringen von Absorbern mit definierten Eigenschaften und die Erhaltung erwünschter Reflexionsflächen zur Schalllenkung verbessert werden. Die Nachhallzeit eines Raumes ist diejenige Zeit in Sekunden, die vom Zeitpunkt des Ausschaltens einer Quelle vergeht, bis der Schalldruckpegel um 60 dB abgefallen ist. Neben den raumakustischen Wirkungen lassen sich mit dem Einbringen von Absorptionsmaterialien auch begrenzte Schallpegelminderungen im diffusen Schallfeld erzielen.

Normalhörende sind in der Lage, Sprache auch dann noch zu verstehen, wenn der Pegel der Störgeräusche geringfügig höher liegt als das Sprachsignal. Für Hörbehinderte sollte der Pegel der Störgeräusche mindestens 10 bis 15 dB tiefer sein. Als Maximalwert von Störgeräuschen wird in einer aktuellen Studie ein Pegel von **38 dB(A)** bei den Zuhörenden vorgeschlagen.

Damit der Störgeräuschpegel von außen oder aus Nachbarräumen so niedrig wie möglich wird, muss die Schalldämmung der Wände auf jeden Fall die Mindestanforderungen der Oö. Bautechnikverordnung erfüllen. Im eigenen Raum sollten Störgeräusche z.B. vom Videobeamer, von einer Lüftungsanlage oder einer anderen haustechnischen Anlage so gering wie möglich sein.

Mit einer akustisch guten Raumform kann der Schall günstig gelenkt werden, und es können negative Erscheinungen wie Echos und Flatterechos vermieden werden. Angaben zur richtigen Gestaltung finden sich in der ÖNORM B 8115-3.

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 gehalten werden
- 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) muss gegeben sein (eine gute Beleuchtung ist wichtig, Blendungen sollen vermieden werden)
- Hörgeschädigte Kinder benötigen, wenn erforderlich, auch eine elektroakustische Unterstützung

Klassenräume neuer Bauart haben meistens eine Fläche von 50 – 55 m² und ein Volumen von etwa 170 m³ im Gegensatz zu Klassenräumen 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 meist keine größere Grundfläche, sondern oft eine in Hinblick auf die Akustik ungünstige 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 hinteren Wandfläche (siehe

Abb. 9). Insbesondere soll der Sprachfrequenzbereich zwischen 250 Hz und 2.000 Hz berücksichtigt werden. In Klassenräumen mit integrierten hörgeschädigten Kindern empfiehlt es sich an glatten Flächen (z.B. Fenstern) Vorhänge anzubringen und im

Sitzbereich dieser Schüler einen Teppich aufzulegen. Auch eine optimale Sitzanordnung – Sichtbeziehung (Mund) – für hörgeschädigte Kinder gehören zu einem sinnvollen Gesamtkonzept eines integrativen Unterrichts.

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. 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.

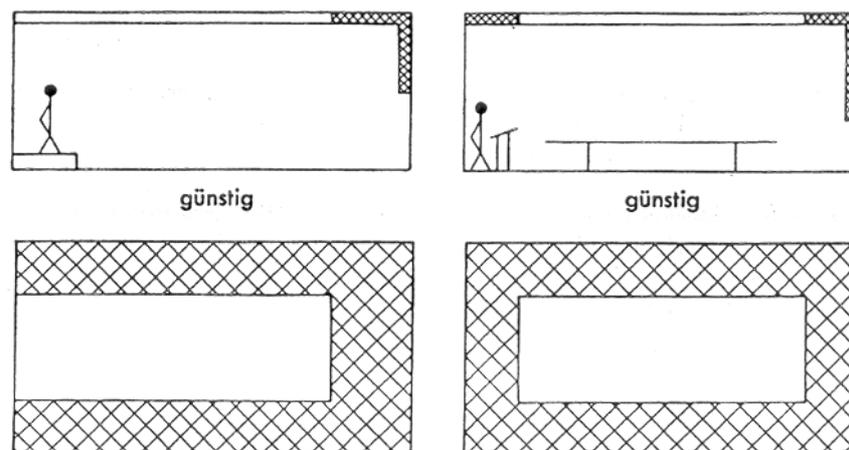


Abb. 9 Verteilung der Absorptionsflächen für Schul- und Sitzungsräume

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.

Messungen beim Schulprojekt haben ergeben, dass in akustisch unbehandelten Räumen die Nachhallzeiten im für die Sprache bedeutsamen Frequenzbereich (250 Hz bis 2.000 Hz) zum Teil erheblich über den geforderten Nachhallzeiten liegen.

Die erforderliche Nachhallzeit für Klassenräume mit vorwiegend sprachlicher Kommunikation wird in Anlehnung an die ÖNORM B 8115-3 bei höchstens $T = 0,8$ s angesetzt. Als Bemessungskriterium wird das unbesetzte Klassenzimmer und die mittlere Nachhallzeit herangezogen. Den empfohlenen Vorsorgemaßnahmen liegt der Zusammenhang zwischen Raumvolumen (Einfluss auf die Nachhallzeit) und einzubauender Absorberflächen in den Klassenräumen zugrunde. Die notwendigen Absorberflächen werden raumgrößenabhängig und vereinfacht in Stufen ausgewiesen. Die Zahlenangaben in der äquivalenten Absorberfläche bedeuten, dass die praktisch einzubauenden Flächen immer größer sein müssen.

Nachhallzeit

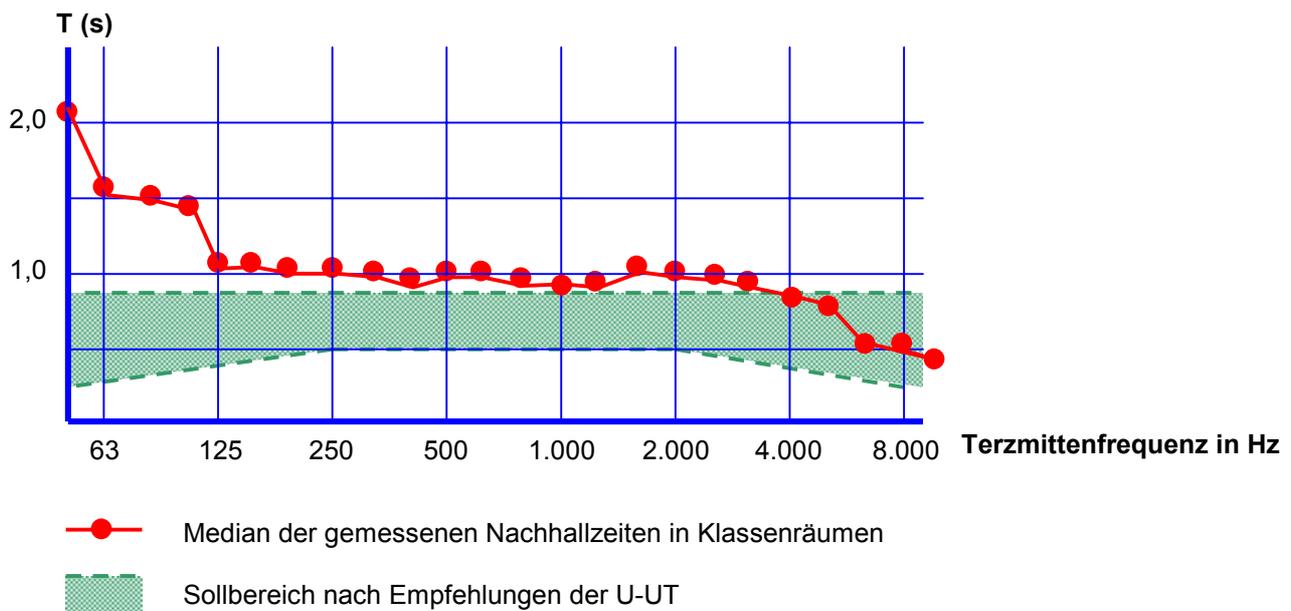


Abb. 10 Gemessene Nachhallzeiten (Median) in Klassenräumen im Vergleich zum Sollbereich

Standard(klassen)räume erfordern Standardlösungen. Nach den Vorgaben der ÖNORM B 8115-3 soll die mittlere Nachhallzeit höchstens $T = 0,8$ s betragen. Für hörgeschädigte Kinder empfiehlt es sich, die Nachhallzeit noch kürzer zu wählen. Aus der nachfolgenden Tabelle sind die einzubauenden Absorptionsflächen für Unterrichtsräume mit sprachlicher Kommunikation je nach Volumen leicht zu ermitteln.

Einzubauende Absorptionsflächen in Unterrichtsräume mit sprachlicher Kommunikation		
Raumvolumen	Absorberflächen $\alpha_w = 0,5 \dots 0,6$	Absorberflächen $\alpha_w = 0,7 \dots 0,8$
90 – 120 m ³	11 m ²	8 m ²
121 – 150 m ³	19 m ²	14 m ²
151 – 180 m ³	28 m ²	20 m ²
181 – 210 m ³	35 m ²	26 m ²
211 – 240 m ³	42 m ²	31 m ²
241 – 270 m ³	50 m ²	36 m ²
271 – 300 m ³	57 m ²	42 m ²

Materialauswahl (Ausführungsbeispiele):



Gipskartonplattendecke

Gerade Rundlochung 8/18

Plattendicke: 12,5 mm

Lochanteil: 15,5 %

Luftabstand: 60 mm

Paratex Akustikvliesauflage 45 g/m² mit Mineralfaser 20 mm

Absorptionsgrad α_s					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,29	0,55	1,07	0,86	0,45	0,56

Befestigungsuntergrund:

Stahlbeton / Holzbalken / Grund- und Tragprofile

Abb. 11 gelochte Gipskartonplattendecke



Akustik-Dekorplatten

weiß und unbeschichtet, glatte Oberfläche

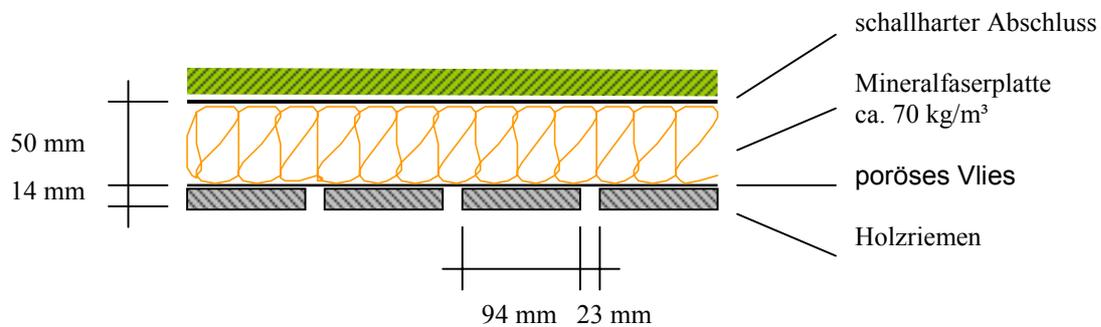
Format in mm: 615 x 615 x 60

Absorptionsgrad α_s					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,19	0,73	1,01	1,10	1,04	1,05

Abb. 12 Akustik Dekorplatten



Abb. 13 Schallabsorber aus Holzriemen mit Luftspalten



Guter Schallabsorber aus Holzriemen mit Luftspalten

Abb. 14 Aufbau eines Schallabsorbers aus Holzriemen mit Luftspalten

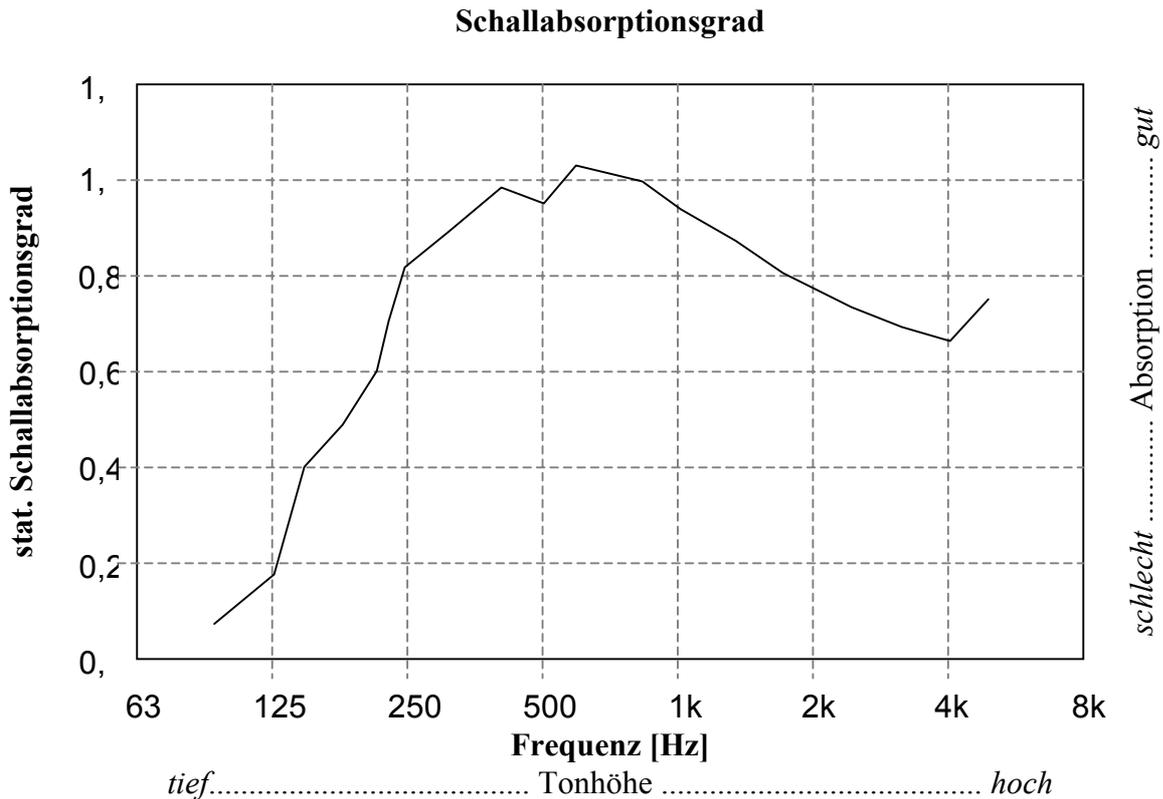


Abb. 15 Schallabsorptionsgrad der Holzriemendecke zu Abb. 13 und Abb. 14

Vereinfachtes Berechnungsbeispiel:

Welche Absorptionsfläche ist für einen Raum mit $V = 200 \text{ m}^3$ erforderlich um eine Nachhallzeit von $T_{\text{soll}} = 0,8 \text{ s}$ zu erreichen?

Berechnung nach Sabine: $T = 0,16 * \frac{V}{A} \longrightarrow A = 0,16 * \frac{V}{T} = 0,16 * \frac{200}{0,8} = 40 \text{ m}^2$

Für gelochte Gipskartonplatten und Akustik Dekorplatten ist bei 500 Hz der Schallabsorptionsgrad ca. $\alpha = 1,0$, daher ist es ausreichend 40 m^2 dieser Materialien anzubringen.

Für Materialien mit einem niedrigeren Absorptionsgrad α ist es erforderlich die äquivalente Absorptionsfläche mit folgender Formel umzurechnen:

z.B. für Vorhänge ist bei 500 Hz der Schallabsorptionsgrad ca. $\alpha = 0,3$

$$A_{\text{Vorhänge}} = \frac{A}{\alpha} = \frac{40}{0,3} = 120 \text{ m}^2$$

Daraus ist ersichtlich, dass das Anbringen von Vorhängen alleine in diesem Fall nicht ausreicht.

T...Nachhallzeit [s] V...Volumen [m^3] A...äquivalente Absorptionsfläche [m^2]
 α ...Schallabsorptionsgrad

3.1.7 Luft- und Trittschalldämmung:

Eine Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen den Klassenzimmern bzw. eine wesentliche Verbesserung zwischen den Klassenzimmern und dem Gang kann durch eine umlaufende Lippendichtung sowie einen Türanschlag mit Lippendichtung bei den Klasseneingangstüren erreicht werden. Auch die Trittschalldämmung zwischen den Klassenzimmern und dem Gang kann wesentlich besser sein, wenn zusätzlich eine umlaufende Lippendichtung sowie ein Türanschlag mit Lippendichtung bei den Klasseneingangstüren angebracht werden. Generell sollte angestrebt werden, laute und schutzbedürftige Räume durch eine geeignete Klassenanordnung soweit wie möglich von einander entfernt zu situieren (Klassen nicht neben Werkräumen anordnen).

3.1.8 Lärmbelastung

Grundsätzlich ist bei der Problematik Lärm von Außen (Verkehrsträger, Betriebe ...) zu unterscheiden, ob das Schulgebäude bereits errichtet und in Betrieb ist oder ob sich ein Projekt noch in der Planungsphase befindet.

Bei neu zu planenden Schulen dürfte der Lärm von Außen im Grunde genommen 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 Lärmproblemen kommt daher der sorgfältigen Planung und der Auswahl des Grundstückes eine entscheidende Rolle zu. Dabei ist nicht nur die gegenwärtige Situation zu berücksichtigen, sondern muss auch auf die zukünftig geplante Entwicklung in der Umgebung des Schulstandortes eingegangen werden. Die Instrumentarien dafür sind der gültige Flächenwidmungs- und Bebauungsplan sowie das örtliche Entwicklungskonzept (ÖEK) der jeweiligen Gemeinde.

3.2 Nutzung

3.2.1 Radon

Soweit möglich sollten in Radongebieten keine erdberührten Räume (z.B. Kellerräume oder nichtunterkellerte Erdgeschossräume), in denen die Radonkonzentration nicht bekannt ist, für den dauernden Aufenthalt (z.B. Gruppenräume, Klassenzimmer, Wohnräume) genutzt werden, da in diesen Räumen die Wahrscheinlichkeit für erhöhte Radonaktivitätskonzentrationen größer ist.

In jedem Fall senkt das konsequente, regelmäßige und zweckentsprechende Lüften die Radonkonzentrationen in der Innenraumlufte. Im Abschnitt "Belüftung der Räume" wird die zweckdienliche Art und Weise des Raumlüftens beschrieben.

3.2.2 Chemische Luftschadstoffe

In Hinblick auf die hohe Empfindlichkeit mancher Menschen gegenüber Formaldehyd und flüchtigen organischen Verbindungen empfiehlt es sich bei entsprechend typischen Beschwerden eine Untersuchung der Raumluftekonzentration durchzuführen. Bei Vorliegen von Risikofaktoren wie großflächigen Holzflächen (Verkleidungen) bzw. imprägnierten Holzfenstern sollten Material- und Raumlufteuntersuchungen in Hinblick auf die Substanzen PCP und Lindan durchgeführt werden. Hier ist einschränkend zu bemerken, dass diese Holzschutzmittelbestandteile nur bis etwa 1985 eingesetzt wurden.

Bei Vorliegen von starken Emittenten, aber auch bei schwachen, großflächigen Quellen sollten im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden.

3.2.3 Belüftung der Räume

Eine ausreichende Frischluftzufuhr ist die Grundvoraussetzung für eine optimale Nutzung geistiger Ressourcen. Durch wirkungsvolles und konsequentes Lüften wird in stark belegten Räumen, die infolge dichter Fenster eine geringe Lüftungsrate aufweisen, eine wesentliche Verbesserung der hygienischen Situation erzielt. Folgende Maßnahmen sind dabei zu beachten:

- Zumindest einmaliges Lüften innerhalb einer Stunde.

- In Unterrichtsräumen in jeder Pause und bei hoher Schüleranzahl zusätzlich mindestens einmal während der Stunde lüften.
- Die am weitesten verbreitete Lüftungsart, gekippte Fenster, führt zu größeren Energieverlusten als die 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.
- Die Dauer der Belüftung richtet sich nach der Außentemperatur. Der Belüftungsvorgang sollte 5 bis 15 Minuten andauern.
- Fenster sind so auszuführen und freizuhalten, dass jederzeit ein vollständiges Öffnen möglich ist.

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

In diesen Fällen ist zur Gewährleistung ausreichender Frischluftzufuhr bzw. zur Vermeidung maßgeblicher Überschreitungen des hygienisch erforderlichen CO₂-Zielbereichs ein zusätzliches Lüften während der Unterrichtszeiten oder der Einbau von kontrollierten Raumlüftungsanlagen erforderlich.

Der Einbau von einfachen CO₂-Messgeräten mit optischen und eventuell akustischen Warneinrichtungen in den dauernd genutzten Räumen mit stärkerer Belegung und dichten Fenstern kann den Nutzern die Notwendigkeit und Zeitpunkte für Lüftungsmaßnahmen vor Augen führen.

Eine weitere wesentliche Einflussgröße ist die Belegung der Klassen. Dort wo sich wesentlich weniger Schüler pro Klasse als die Klassenschülerhöchstzahl aufhalten, werden kaum Situationen auftreten, die eine Lüftungsanlage erfordern.

In der Umweltzeichen - Richtlinie „Schul- und Bildungseinrichtungen“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird auf eine ausreichende Belüftung der Räume eingegangen. Die entsprechenden Empfehlungen sind, wenn möglich, zu berücksichtigen.

3.2.4 Schimmelbildung

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

Im Abschnitt "Belüftung der Räume" wird die zweckdienliche Art und Weise des Raumlüftens beschrieben.

Die Dauer der Belüftung richtet sich nach der Außentemperatur. Der Belüftungsvorgang sollte 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.

Weiters sollten keine Möbelstücke direkt an die Außenwand gestellt werden, denn dadurch wird die Erwärmung der dahinterliegenden Oberflächen erschwert. Die im Raum auftretende Raumlufffeuchtigkeit kondensiert an diesen Stellen und dies führt somit zur Schimmelbildung. Es ist daher unbedingt notwendig, dass die Schränke mit einem Abstand von mindestens 5 cm zur Wand aufgestellt werden. Ist dies nicht möglich, sollten diese mit Lüftungsschlitzen versehen werden, sodass die Raumluff zirkulieren kann.

3.2.5 Zugluft und Gebäudedichtheit

Während der Gebäudenutzung kann naturgemäß nicht auf die Baukonstruktion Einfluss genommen werden. Allerdings können vor allem bei beweglichen Bauteilen wie Fenstern oder Türen durch Alterung von Dichtungen oder Veränderungen bei den Beschlägen Undichtheiten auftreten. Eine Wartung ist daher nach einer entsprechenden Zeitdauer vorzunehmen.

Beachtet werden muss auch, dass bei etwaigen Umbauarbeiten bzw. bei Arbeiten an den Außenbauteilen (nachträglicher Einbau von Steckdosen) das Dichtigkeitssystem nicht verletzt wird.

3.2.6 Akustik

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 eine 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. Um die Lärmentwicklung in den Räumen zu reduzieren, sollten die Filzunterlagen unter den Stühlen und Bänken auf die Funktionalität überprüft werden. Bei den Einrichtungsgegenständen sollten bei den Türen Gummistopper und bei den Schubladen Gleitlager vorhanden sein. Schreibtischunterlagen sollten verwendet werden, um das Klappern der Stifte, Lineale bzw. Dreiecke zu vermeiden.

3.2.7 Lärmbelastung

Sind bei einer Schule die Schüler nur in einzelnen Klassenräumen von einer übermäßigen Lärmbelastung betroffen, so ist zu überlegen, ob nicht eine räumliche Umsituierung möglich ist. Das bedeutet, dass die lärmbelasteten Räume für andere Zwecke als den Unterricht verwendet werden.

3.3 Sanierung

3.3.1 Radon

Radon, ein natürliches, im Boden vorkommendes Edelgas, entsteht beim Zerfall von Radium. Radon-Atome binden sich nicht, deshalb können sie sich im Erdboden frei als Radongas bewegen.

Aus den Boden, durch Keller und Fundamente gelangen Radon und nach dem Zerfall seine Folgeprodukte in die Räume, werden eingeatmet und verbleiben in der Lunge.

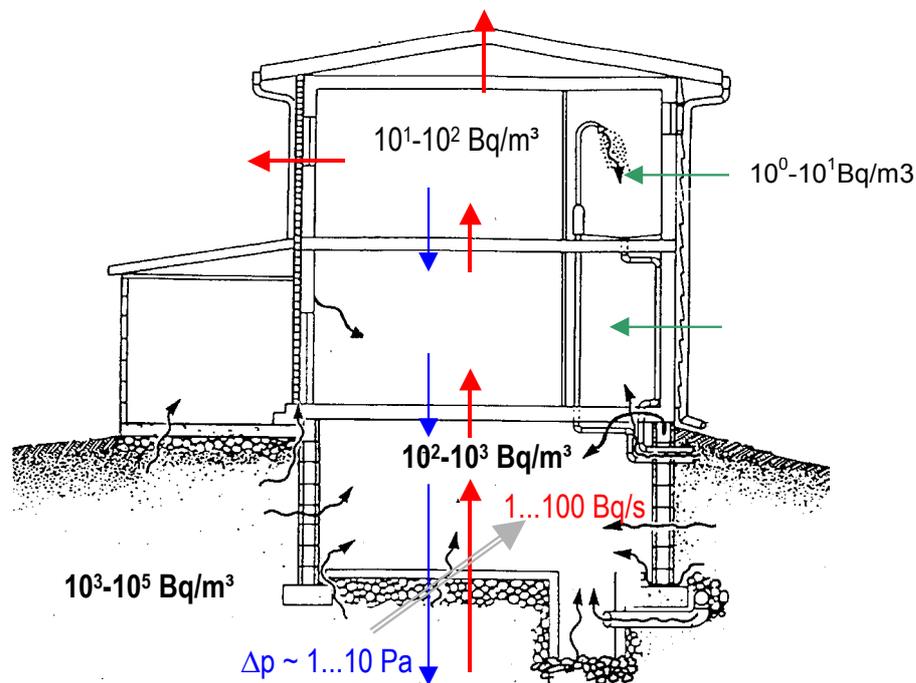


Abb. 16: Eindringmöglichkeiten von Radon in das Gebäude, auftretende Druckgradienten, Radonaktivitätskonzentrationen und Radonmigrationsraten

3.3.1.1 Prinzipielle Radonsanierungsmethoden

Die empfohlenen Techniken zur Sanierung von radonbelasteten Gebäuden beruhen weitgehend auf den Erfahrungen, die im Rahmen der nationalen Radon-Programme in den USA, Kanada, Schweden, Großbritannien, Deutschland, Schweiz und Österreich gesammelt worden sind.

Radonsanierungsmethoden können nach zunehmender Komplexität in folgende Kategorien eingeteilt werden:

NBG	erhöhte natürliche Belüftung des Gebäudes
MBG	erhöhte mechanische Belüftung des Gebäudes
UKL	Unterbindung des konvektiven Luftstromes zwischen einem Keller und den darüber liegenden Räumen
VV	Verfugung von Öffnungen, Rissen und Spalten bzw. Versiegelung von Flächen durch Anstriche oder Beschichtungen
MBB	erhöhte mechanische Bodenluftabsaugung unterhalb der Bodenplatte
NBB	erhöhte natürliche Bodenluftabsaugung unterhalb der Bodenplatte
RUG	Reduktion des (infolge des Kamineffektes) herrschenden Unterdrucks im Gebäude
PÜG	Erzeugung von Überdruck im Gebäude

NBG-Methode

Durch erhöhte ***natürliche Belüftung des Gebäudes (NBG-Methode)*** wird Frischluft mit geringem Radon-Gehalt ins Gebäude gebracht und damit die Radonaktivitätskonzentration der Raumlufte verringert. Zu dieser Maßnahme zählt das vermehrte Lüften durch Fenster, Türen oder mittels eigener Lüftungsöffnungen, besonders in den unteren Stockwerken. Diese technisch einfachste Methode kann in allen Gebäudetypen angewandt werden und bringt eine Verringerung der Radon-Raumluftekonzentration bis zu über 90% des Anfangswertes, abhängig von der Ventilationsrate. Obgleich keine Installationskosten anfallen, sind die damit verbundenen erhöhten Energiekosten, besonders in der kalten Jahreszeit, ein entscheidender Kostenfaktor.

MBG-Methode

Durch erhöhten Luftwechsel bei ***mechanischen Belüftungsanlagen von Gebäuden (MBG-Methode)*** wird prinzipiell der gleiche Effekt auf die Radonraumluftekonzentration erzielt wie durch die erhöhte natürliche Belüftung. Bei der technischen Realisierung ist zu beachten, dass ein geringfügiger Überdruck (wenige Pa) im Gebäude sichergestellt ist.

UKL-Methode

Die **Unterbindung des konvektiven Luftstromes (UKL-Methode)** aus dem Kellerbereich in die darüberliegenden Räume ist eine Methode, die zur Sanierung radonbelasteter Wohnungen im Bergbauggebiet in Schneeberg in der ehemaligen DDR entwickelt wurde. In dieser speziellen Situation mit teilweise sehr hohen Radonkonzentrationen im Kellerbereich wird versucht, über verschiedene Maßnahmen, wie Abdichten des Zuganges, Abdichten von Öffnungen und Luken, Installation dichter Kellertüren bis zum Neubau eines Kellerzuganges von außen die Radonausbreitung nach oben zu vermindern. Generell gilt aufgrund bisheriger Erfahrungen, dass durch diese Methoden bei sehr hohen Radonausgangskonzentrationen nur in wenigen Fällen befriedigende Ergebnisse zu erwarten sind.

VV-Methode

Das **Verfugen und Versiegeln (VV-Methode)** von Eintrittsöffnungen bzw. Oberflächen für radonhaltiges Bodengas kann sowohl die Radon-Konvektion, als auch die Radon-Diffusion in das Gebäudeinnere reduzieren. Größere Öffnungen in den Wänden und Böden können mit Mörtel verschlossen, kleinere Sprünge und Risse mit dauerelastischem Kitt abgedichtet werden. Eine Beschichtung von großen Flächen mit luft- und wasserdampfdichten, dauerhaft haltbaren Kunststoff-Folien als Radon-Barrieren ist ebenfalls möglich. Bedingung dafür ist jedoch, dass es dadurch zu keinen unerwünschten bauphysikalischen Nebeneffekten kommt (z.B. bei feuchtem Mauerwerk kann eine Luft- und Wasserdampf-undurchlässige Beschichtung zu schweren Schäden führen). Die Effizienz dieser Methode im Hinblick auf eine Verminderung der Radonraumluftkonzentration ist generell gering und abhängig von den **örtlichen** Gegebenheiten.

MBB-Methode

Die Methode der erhöhten **mechanischen Bodenluftabsaugung (MBB-Methode)** beruht darauf, unter der Bodenplatte (im darunter liegenden Erdbereich) einen Unterdruck zu erzeugen. Dazu werden KUNSTSTOFF-Rohre durch die Bodenplatte in den Boden geführt. Mittels eines Ventilator-Rohrsystems wird radonhaltige Bodenluft vor deren Eintritt in das Gebäudeinnere abgesaugt. Die Austrittsöffnung dieses Rohrsystems befindet sich über Dach. Diese Methode kann überall dort erfolgreich eingesetzt werden, wo der Untergrund unterhalb der Bodenplatte ausreichende Permeabilität aufweist (z.B. Schotter, Sand). Alternativ können die Absaugrohre - auch durch die Grundmauern hindurch - im Untergrund installiert werden.

Die Installation des Ventilators ist entscheidend für die Wartungskosten und für den mit dem Betrieb verbundenen Geräuschpegel. Der Ventilator, ausgelegt für einen Unterdruck von ca. 250 - 500 Pa, wird deshalb meistens im Dachbodenbereich installiert. Zu den Installationskosten fallen Betriebskosten (elektrische Energie und Wartung) sowie zusätzlichen Energiekosten für die Gebäudeheizung an.

NBB-Methode

Die erhöhte ***natürliche Bodenluftabsaugung (NBB-Methode)*** beruht auf dem gleichen Prinzip wie oben beschrieben, jedoch entfällt der Einsatz eines Ventilators und die damit verbundenen Kosten, sowie Geräuschpegel. Der zum Betrieb erforderliche Unterdruck resultiert aus den thermischen Effekten („Kamineffekt“) und dem Einfluss des Windes auf das Gebäude. Die Höhe der Installationskosten ist - trotz Wegfall des Ventilators - nur unwesentlich verschieden von jenen der mechanischen Belüftungsmethode.

RUG-Methode

Reduktion des Unterdrucks im Gebäudeinneren (RUG-Methode) ist eine wesentliche Voraussetzung für einen verminderten Transport von radonhaltiger Bodenluft im Gebäude. Diese Methode kann prinzipiell in allen Gebäuden angewendet werden, indem dafür gesorgt wird, dass ausreichende Frischluft ins Hausinnere strömen kann. Vermeidung von Abluft-Ventilatoren im Inneren des Gebäudes (z.B. WC, Bad, Dunstabzug über Kochstellen); eigene Frischluft-Zufuhrleitung im Heizraum bzw. beim Betrieb eines offenen Kamins; Blockierung von Luftbewegungen zwischen einzelnen Stockwerken (vor allem zwischen Kellergeschoss und Erdgeschoss) durch dichte Türen. Die Installations- und Betriebskosten sind generell niedrig anzusetzen.

PÜG-Methode

Durch ***positiven Überdruck im Gebäude (PÜG-Methode)*** kann der Transport von radonhaltiger Bodenluft ins Innere des Gebäudes reduziert werden. Diese Sanierungsmethode wird bevorzugt dort angewandt werden, wo es sich um Häuser mit einem „dichten“ Kellergeschoss handelt. In diesem Fall wird Raumluft aus den oberen Stockwerken oder (im Winter angewärmte) Frischluft ins Kellergeschoss geblasen. Es wurden damit eine Reduktion der Radonraumluftkonzentration bis zu 90% erreicht, jedoch fehlen derzeit noch verlässliche Langzeit-Erfahrungen. Die baulichen Maßnahmen zur Abdichtung des Kellergeschosses verursachen Kosten. Dazu kommen Betriebskosten und zusätzliche Heizkosten aufgrund der erhöhten Ventilationsrate.

3.3.1.2 Weiterführende Maßnahmen

Verfugung von Rissen und Sprüngen zwischen Bauteilen

Bei der Anwendung von dauerelastischen Verfugungsmaterialien ist darauf zu achten, dass mindestens zwei Abdichtungsebenen geschaffen werden. Bei der Anwendung von Folien ist die Rissfestigkeit bei Gebäudebewegungen vorher eindeutig nachzuweisen. Bei Stößen ist die Überdeckung allseits mindestens 10 cm breit auszuführen.

Nach dem bisherigen Kenntnisstand ist Folien (Kunststoff oder Bitumen) der Vorzug zu geben; diese sind meistens auch besser am Bestand anschließbar.

Es kann durchaus zweckmäßig sein, die Abdichtung in mehreren Ebenen auszuführen, nach den Grundsätzen der Erzielung der Wasserdichtheit von Bodenplatten bzw. Kellern und deren Anschlüssen an das aufgehende Mauerwerk.

Verfugung von Rissen und Sprüngen innerhalb von Bauteilen

Es sind dem Stand der Technik entsprechende Materialien einzusetzen, mit denen solche Schäden dauerhaft behoben werden.

Unterbodenentlüftung

Zur Installation dieser Methode ist es erforderlich, Kunststoffrohre mit einem Durchmesser von mindestens 50 mm im Abstand von etwa 1 bis 2 Metern, annähernd parallel zueinander in einem Schotterkoffer in einer Tiefe von etwa 50 cm unter fertige Fußbodenoberkante (FFBOK) zu verlegen.

Dieses Rohrnetz wird über eine Sammelleitung an eine über Dach führende Abluftleitung angeschlossen. Bei einem Betrieb als aktives Absaugesystem wird in die Abluftleitung ein Ventilator in Serie geschaltet. Alle Rohrdurchführungen sind schwingungs- und schalldämmend auszuführen. Das auftretende Kondensat ist geeignet abzuführen. Sämtliche Rohrstrecken außerhalb von beheizten Räumen werden wärmegeklämmt, um Kondensatbildung zu vermeiden.

Bei primärer Planung einer passiven Unterbodenentlüftung (ohne Ventilator) sollte bauseits die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaues einer aktiven Entlüftung vorgesehen werden.

Ventilatoren sollten ihre Leistung regelbar abgeben können, Schallschutz, Lebensdauer und Wartungserfordernisse sind bei der Auswahl zu beachten.

Abdichtungen

Geeignet sind sowohl Kunststoff-, als auch Bitumenbahnen unter Berücksichtigung der ÖNORMEN und der Verlegervorschriften des jeweiligen Herstellers. Als Grundlage für die Planung und Ausführung kann dem Stand der Technik gemäß die Abdichtung gegen nicht drückendes Wasser angesehen werden. Rohrdurchführungen (Gas, Wasser, Elektrik oder Abwasser usw.), Anschlüsse von Lichtschächten u.ä. sind besonders genau auszuführen, da hier entscheidende Schwachstellen auch bei herkömmlichen Ausführungen auftreten können.

Schallschutz für aktive Systeme

Die Vorschriften der ÖNORM B 8115 sowie die jeweiligen länderspezifischen Angaben in der Baugesetzgebung sind einzuhalten.

Offene Wasserstellen im Haus

Das aus dem Wasser austretende Radon darf nicht in die Raumluft gelangen, daher sind einerseits gasdichte Abdeckungen herzustellen, andererseits kann es aber auch notwendig sein, den vorhandenen Schacht u.ä. zusätzlich abzudichten.

Trennung Keller - Wohnbereich

Es ist anzustreben, die beiden Bereiche Keller und Wohnräume durch eine möglichst dichte Türe und abgedichtete Installationsdurchführungen zu trennen, wobei darauf zu achten ist, dass auch die Anschlüsse der Türe sowie die trennenden Bauteile diesen Anforderungen entsprechen. Dadurch wird der Transport von Radon aus dem Untergrund in den Wohnbereich unterbunden.

Es wird in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen, dass geringere Luftströmungen im Haus - auch aufgrund von Temperaturdifferenzen - eine geringere Verfrachtung von Radongas zur Folge hat.

3.3.1.3 Materialien, Stoffe und Komponenten zur Radonsanierung

Im Zuge von Radonsanierungen wird normalerweise auf herkömmliche im Hausbau verwendete Produkte zurückgegriffen. Grundsätzlich sind sämtliche Materialien und Stoffe zur Radonsanierung verwendbar, die auch für die Anwendung bei Neubauvorsorge-maßnahmen gemäß ÖNORM S 5280-2 geeignet sind.

Die wesentlichsten Materialien bzw. Systemkomponenten betreffen Materialien zur Abdichtung, flächig (Beschichtungen) oder stellenweise (Fugen oder Risse) angewandt,

Rohrsysteme und Belüftungskomponenten, wie Ventilatoren. Generell werden Abdichtungen und Beschichtungen als zusätzliche Methode zu anderen Sanierungsmethoden (meist Belüftungsmethoden) empfohlen und sind nur in Einzelfällen allein ausreichend wirksam. Die Effektivität bzw. Dauerhaftigkeit von den diversen Materialien bzw. von installierten Radonsanierungssystemen wird in den meisten Fällen durch Radonmessungen in bestimmten Zeiträumen nach der Sanierung festgestellt und mit den Konzentrationen vor der Sanierung und gleich nach Systeminstallation verglichen. Die Bestimmung der Eigenschaften der verwendeten Materialien im Labor kann die Bestimmung des Diffusionskoeffizienten, der Radonexhalationsrate und der Luftdurchlässigkeit betreffen.

Im Fall von Ventilatoren kommen solche zum Einsatz, deren Leistung unter 100 W beträgt. Die Auswahl dieser relativ geringen Ventilatorleistung erscheint aus Gründen der Energiesparmaßnahmen plausibel. Diese Leistung reicht im Normalfall beispielsweise aus, um Unterdrücke im Unterbodenbereich von zumindest einigen Pascal zu erhalten bzw. bei wenig permeablen Böden auf etwa 300 Pascal Unterdruck zu kommen. Kriterien zur Ventilatorauswahl sind ein geringer Geräuschpegel, regulierbare Leistung und – im Falle der Anwendung in der MBB-Methode - die Verwendung unterdruckoptimierter Ventilatoren zur Aufrechterhaltung des Unterdrucks selbst wenn kein Volumenstrom vorhanden ist. Die Lebensdauer der Ventilatoren wird mit etwa 2 bis 5 Jahren angegeben, wobei die Lebensdauer stark von den Gegebenheiten, vor allem von auftretenden Verschmutzungen abhängt. Zu rechnen ist jedenfalls damit, dass nach einigen Jahren der Ventilator ausgetauscht werden muss, wobei Lagerschäden und Probleme mit dem Kondensator die Hauptursachen für Ventilatorstörungen darstellen, welche unter anderem einen nicht tolerierbaren Lärmpegel hervorrufen können.

Die verwendeten Rohre sind meist herkömmliche Kunststoff-Rohre, wobei die perforierte Art Anwendung bei Sammelsystemen, d.h. beispielsweise unterhalb des Fundamentes, die durchgehende Art Anwendung bei Ableitungssystemen, d.h. vom Sammelsystem bis zur Austrittsstelle ins Freie, findet. Gelegentlich werden auch andere Materialien, wie beispielsweise Stahlblech verwendet. Probleme bei Rohrsystemen können auftreten, wenn es zu einer Absenkung der Rohre kommt, die fehlerhafte Neigung der Rohre kann bewirken, dass entstehendes Kondenswasser nicht in den Boden zurückfließen kann; Verstopfungen, Algenwachstum sowie Lärm können daraus resultieren.

Materialien zur Abdichtungen richten sich auch nach dem Anwendungsfall, d.h. ob eine flächenweise Abdichtung, Abdichtungen von Fugen (Wand und Fußboden) oder ob Risse oder Spalten ausgebessert werden sollen. Generell werden solche Materialien verwendet, die sich normalerweise durch ihre Undurchlässigkeit für Wasser, Luft und Feuchtigkeit auszeichnen.

Zur flächigen Abdichtung kommen Auflagen in Form von vorgefertigten Bahnen (Bitumen, Kunststoffe) zur Anwendung, welche auf die gesamte entsprechende Oberfläche aufgeklebt oder gegebenenfalls nur an den Randbereichen auf der Oberfläche fixiert bzw. abgedichtet werden. Besondere Problemzonen sind dabei die Überlappungen (Stöße) der einzelnen Bahnen, die zur Erreichung der geforderten Dichtheit ein besonders sorgfältiges Arbeiten erfordern. Ebenfalls zur flächigen Abdichtung können diverse Anstriche (Epoxidanstriche, Bitumenemulsionen, Kunststoff-Anstriche, etc.) verarbeitet werden. Die Anwendung von Abdichtungen bezieht sich auf Wände im Außen- und im Innenbereich und auf Böden (Betonplatte). Sehr breite Anwendung finden Materialien aus Bitumen (Bitumenanstriche, bitumen-imprägnierte Produkte), wobei bei Bitumenpappe generell eine Aluminium-, oder neuerdings auch Kupfereinlage, als relevante Radonsperre angegeben wird. Häufige Anwendung finden auch Produkte aus Polyäthylen.

In den Fällen, in denen die Abdichtung von Rissen und Spalten bzw. von Fugen durchgeführt werden sollte, sind diverse Dichtungsmaterialien am Markt erhältlich: Silikonprodukte, Polyurethan und diverse Produkte aus Acryl, Butyl und Polysulfid sind zu den am häufigsten verwendeten Materialien zu zählen. Bezüglich der Produkteigenschaften wird häufig auf Elastizität, leichte Verarbeitung, Adhäsion und Langlebigkeit geachtet, wobei natürlich nicht jedes Produkt diesen Eigenschaften in gleicher Weise entspricht. Beispielsweise ist im Falle einer Silikonanwendung im Vergleich zu einer PU-Schaum-Anwendung eine sorgfältigere Oberflächenbehandlung vorzusehen. Als negativer Nebeneffekt wird generell die Freisetzung gesundheitsschädigender chemischer Stoffe (z.B. Lösungsmittel) angegeben.

Für einige Dichtungsmaterialien sind Angaben zur Lebensdauer verfügbar, wobei sich die Angaben - basierend auf entsprechenden praktischen Erfahrungen - im Bereich von etwa 10 bis 12 Jahren bewegen. Generell wird die Beschränkung der Dauerhaftigkeit bei Dichtungsmaterialien auf das Brüchigwerden bzw. Auftreten von Löchern, das Ablösen vom Untergrund und diverser reaktiver Veränderungen (durch Feuchtigkeit, Wasser und anderer Stoffe) bezogen.

Ebenfalls Alterungserscheinungen können bei Beton(-platten) auftreten. Problematisch sind vor allem die Undichtheiten sämtlicher Verbindungsstellen, sowie Rissbildungen. Laboruntersuchungen zeigten, dass die Diffusionskoeffizienten bei älteren Betonproben zunehmen und die höchste Zunahme der Luftdurchlässigkeit bei Bodenplatten in den ersten 10 bis 12 Jahren erfolgt.

Im Falle von Zubauten in Radongebieten kann durch Abdichtung von innen leicht zugänglich ausgeführten (Dehn-/Anschluss-)Fugen im Wand-Fußbodenbereich der Radoneintritt effektiv minimiert werden.

3.3.2 Chemische Luftschadstoffe

Bei der Sanierung sollte sinngemäß wie beim Neubau auf die Auswahl emissionsarmer Baustoffe und Materialien zur Innenausstattung Wert gelegt werden. Die entsprechenden Maßnahmen und Problembereiche werden im Kapitel "Planung von Neubauten" angesprochen.

Bei großflächigen Umbauten sowie Renovierungsarbeiten sollten Restemissionen von Baustoffen und Materialien der Innenausstattung mindestens ein Monat abgelüftet werden. Die entsprechenden Bereiche des Gebäudes sollten in dieser Zeit nicht benutzt werden. Hier ist vor allem auf eine vollständige lufttechnische Trennung zwischen den zu renovierenden Teilen und den in Benützung stehenden Räumen zu achten.

Bei Sanierungsmaßnahmen ist auf eventuell vorhandene „Altlasten“ in dauernd benutzten Räumen zu achten. Hat sich im Zuge einer Erhebung gezeigt, dass bestimmte Materialien in den Räumen hohe Konzentrationen an PCP oder Lindan aufweisen bzw. wenn großflächig verlegte schwach belastete Materialien wie Holzverkleidungen zu erhöhten Konzentrationen dieser Substanzen in der Raumluft führen, sollte eine Sanierung stattfinden.

Es existieren mehrere Möglichkeiten zur Senkung der Raumluftkonzentration an PCP und Lindan 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.

Ein kritischer Punkt in Altbauten sind weiters Fugenmassen von Betonfertigteilen, die unter Umständen zu einer erhöhten Konzentration an polychlorierten Biphenylen (PCB) in der Raumlufte führen können. Im Verdachtsfall sollten hier Material- und Raumlufteuntersuchungen die Notwendigkeit und gegebenenfalls Dringlichkeit von Sanierungen belegen. Sanierungen PCB – belasteter Gebäude sind komplex und sollten nur von erfahrenen Fachfirmen durchgeführt werden.

3.3.3 Schimmelbildung

Vor einer Sanierung muss immer erst die Ursache für die Schimmelbildung festgestellt werden. Dies können sein:

- Benutzerverhalten (Möbel an der Außenwand, falsche Belüftung)
- Wärmebrücken, schlechte Wärmedämmung
- Eindringende Feuchtigkeit von außen (zB aufsteigende Feuchtigkeit)
- Luftundichtheiten

Die im Anschluss erwähnten Sanierungsmethoden für eindringende Feuchtigkeit von außen sind technisch und praktisch erprobt. Ausführliche Informationen zur Trockenlegung von Mauern sind der ÖNORM B 3355 zu entnehmen.

3.3.3.1 Sanierung eindringender Feuchtigkeit von außen

Für die Sanierung ist es erforderlich festzustellen, wie viel Wasser und Salze im Mauerwerk enthalten sind.

3.3.3.1.1 Analyseverfahren

Feuchtebestimmung in Bauteilen

Verfahren	Funktionsprinzip	Bemerkung
elektrische Verfahren	Widerstands- oder Kapazitätsmessung	bei erhöhten Salzgehalten keine gesicherten Ergebnisse
Mikrowellengeräte	Wellenabsorption durch Flüssigkeiten	Geräte besitzen nur ungenügende Ausgangsleistung, begrenzte Eindringtiefe
Thermographie	Messung von Temperaturänderungen über Infrarottechnik	nur in Verbindung mit anderen Methoden, das die Thermographie keine quantitative Feuchtigkeitsbestimmung ist, nur Erkennen feuchter Stellen;
Chemisch	Bildung von Acetylgas aus Wasser und Carbis; Druckmessung (Karl Fischer Methode)	zerstörendes Verfahren; vor Ort einsetzbar
gravimetrisch	Probeentnahme, Wiegen, trocknen, Rückwiegen	zerstörendes Verfahren nur im Labor einsetzbar
Lambda Methode	Wärmeleitfähigkeit	nur Erkennen feuchter Stellen; keine genauen Aussagen möglich

Bestimmung des Salzgehaltes in Bauteilen

Vorraussetzung für die Instandsetzung von salzgeschädigten Bauwerken ist die genaue Kenntnis von Art, Menge und Verteilung der Salzphasen. Dabei spielt die Probenahme eine entscheidende Rolle. Für sachgerechte Probeentnahme werden vertikale Messachsen angelegt, aus denen Tiefenprofile entnommen werden. Hierbei ist wichtig,

dass die im Bauwerk vorkommenden Baustoffe berücksichtigt werden. Außerdem müssen die Probeentnahmen sowohl aus dem oberflächennahen Bereich als auch aus dem Mauerwerksquerschnitt entnommen werden, da die Salzkonzentration auf den Wandflächen immer größer ist als im darunter liegenden Mauerwerk.

Zur Bestimmung von Salzen gibt es zwei Methoden

Qualitative/halbquantitative Salzanalyse (H₂S – Trennungsgang): Hier wird nur bestimmt ob die Salze im Mauerwerk vorkommen

Quantitative Salzanalyse: Bestimmung der Konzentrationen der einzelnen Salze

3.3.3.1.2 Nachträgliche Horizontalabdichtung

Für die nachträgliche Horizontalabdichtung sind mechanische oder chemische Verfahren möglich.

A) Mechanische Verfahren - Mauertrennung

Verfahren, bei denen das aufgehende Mauerwerk zum Einbringen einer nachträglichen Horizontalabdichtung gegen aufsteigende Mauerfeuchte durchtrennt wird, bezeichnet man als Mauertrennung. Der Mauerschlitze kann durch Herausbrechen einiger Steinschichten oder mit maschineller Hilfe durch Bohren, Schneiden, Sägen oder Fräsen hergestellt werden.

Maueraustauschverfahren

Je nach statischer Möglichkeit wird das geschädigte Mauerwerk abschnittsweise über die volle Wandtiefe ausgebrochen. Dabei ist besonders auf erschütterungsfreies Arbeiten zu achten, damit Risse möglichst vermieden werden. Die Anwendung von Pressluftschlämmern sollte deshalb unbedingt auf den schwierigen ersten Durchbruch beschränkt bleiben und anschließend mit der Hand weiter gestemmt werden. Durchgehend lässt sich arbeiten, wenn die Wände auf ihrer gesamten Länge jeweils in halber Wanddicke geöffnet werden.

Nachdem eine Dichtungsfolie oder Abdichtungsbahn eingelegt oder in die frische Ausgleichsschicht eingedrückt wurde, wird das Mauerwerk wieder kraftschlüssig geschlossen. Hierbei sollte beachtet werden, dass die alten, feuchte- und salzgeschädigten Mauerziegel nicht wieder verwendet werden.

V-Schnittverfahren

Dieses Verfahren wird auch „Kunz’sches“ oder „Frässhlitzeverfahren“ genannt. Als Weiterentwicklung des relativ arbeitsaufwendigen Bohrkernverfahrens und im Gegensatz

zum Mauersägeverfahren wird hierbei mit einer Trennscheibe unabhängig von Lagerfugen das Mauerwerk von beiden Seiten unter einem Winkel von ungefähr 10 - 30° aufgeschnitten. Der dabei entstehende Schlitz ist etwa 2 cm breit und wird bis 3 cm über die Mittelachse der Wand geführt. Weil bei diesem Verfahren das Mauerwerk nicht ganz durchtrennt wird, kann der Schlitz über eine große Länge ausgeführt werden, ohne dass die Wand statisch gefährdet ist. In den Schlitz wird ein hochwertiger, zementgebundener und quellfähiger Vergussmörtel mit einem sehr geringen Wasserzementverhältnis eingefüllt. Dieser Vergussmörtel bildet deshalb eine kraftschlüssige Verbindung mit dem Mauerwerk. Sobald der Schlitz die Festigkeit des umgebenden Mauerwerkes erreicht hat (bei mittleren Temperaturen schon nach 14 –15 Stunden) wird der nächste Schlitz so tief ausgeführt, dass er den ersten vergossenen Schlitz kreuzt. So wird sichergestellt, dass in der Wand eine durchgehende Lage Mörtel vorhanden ist.

Mauersägeverfahren

Hierbei erfolgt die Trennung des Mauerwerks im festgelegten Bereich entweder von Hand oder maschinell. Zum Trennen werden Trennscheiben, Mauerfräsen, Stichsägen, Seilzugsägen, Kreissägen oder Schwertsägen benutzt. Bei weichen bis mittelharten Natursteinmauerwerken werden fahrbare Sägemaschinen mit Ketten verwendet. Bei harten Natursteinen werden diamantbesetzte Werkzeuge verwendet. Nach dem Durchtrennen der Mauer wird eine trennende Abdichtungsfolie aus einem hochwertigen, verschleiß- und druckfesten sowie chemisch widerstandsfähigen Kunststoff, eine bitumenkaschierte Aluminium- oder Bleifolie oder korrosionsbeständiger Edelstahl eingeschoben. Die größte Verbreitung finden glasfaserverstärkte Kunststoffplatten oder HD-Polyethylenplatten mit einer Materialdicke von 1,5 - 2mm. Dabei muss auf eine ausreichende Überlappung der Horizontalsperre geachtet werden. Unmittelbar nach dem Einbringen der Folie werden hoch druckfeste Keilplatten mit einer Mindestdruckfestigkeit von 50N/mm² in Abständen von 15 - 25 cm zueinander und in der gesamten Mauerwerksdicke kraftschlüssig eingeschlagen. Die noch vorhandenen Hohlstellen sollten vorsichtig verpresst werden.

Chromstahlblechverfahren

Hierbei wird in eine durchgehende Lagerfuge ein gewelltes Edelstahlblech mit Hilfe von Drucklufthämmern eingetrieben. Damit das Verfahren zur vollständigen Abdichtung führen kann, müssen sich dabei jeweils die letzten zwei Wellen der eingesetzten Bleche überlappen. Bei den Blechen handelt es sich vorwiegend um Chromstahlbleche. Bei stark

chloridbelasteten Mauerwerken werden besonders veredelte Stähle (Chrom-Nickel-Stahl oder Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl) eingesetzt. Die Chromstahlbleche können bis max. 2 cm über dem Fußboden und bis 7 cm unterhalb der Decke eingetrieben werden. Probleme können im Eckbereich auftreten, wenn die horizontale Sperrschicht aufgrund des Versatzes um 90° nicht überlappt. Hier wird die Sperrschicht um eine Steinlage versetzt eingebracht. Außerdem sind Pfeiler und Stützmauern als kritisch anzusehen. Des Weiteren muss das Mauerwerk eine absolut horizontal durchgehende Lagerfuge und einen festen Fugenverbund besitzen, damit durch die hohen Einschlagkräfte beim Einschlagen der Chromstahlbleche nicht einzelne Mauersteine herausbrechen oder das Mauerwerksgefüge gelockert wird.

Tab. 1 Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren:

Verfahren	Vorteile	Nachteile	Bemerkung
Mauerwerks- austausch	keine Spezialmaschine notwendig Salze werden mit entfernt Alle Sperrstoffe einsetzbar Optische Überprüfung	Hoher Arbeitsaufwand Statisches Sicherheitsrisiko sehr teuer Eingriff in die Bausubstanz	Der Mauerwerks- austausch bietet sich nur dann an, wenn aufgrund der Statik ohnehin Maßnahmen im Fundamentbereich notwendig sind.
V-Schnitt	einfache Anwendung Das Mauerwerk wird nicht komplett durchtrennt optische Überprüfung	sehr zeit- und damit kostenintensiv	Verfahren kann nur bei geringen Wanddicken und bei kompaktem Mauerwerk eingesetzt werden.
Mauersäge- verfahren	sehr wirkungsvoll Abdichtungen gegen alle Lastfälle im Mauerwerk möglich Lange Erfahrung Dauerhaftigkeit der Horizontalsperre wird für mindestens 50 Jahren gesehen Optische Überprüfung	Großer Arbeitsraum muss vorhanden sein hoher technischer Aufwand und Verschleiß der Sägen Eingriff in die statische Bausubstanz Erhöhter Arbeitsschutz notwendig Komplette Gebäudetrennung Zeitaufwendig, da nur einzelne Mauerwerksabschnitte bearbeitet werden können	Bildet mit dem Chromstahlblech- verfahren das marktdominierende System innerhalb der mechanischen Verfahren. Wichtig ist die fach- und sachgerechte Ausführung durch einen Fachbetrieb. Patente beachten

		kostenintensiv bei unregelmäßigem Fugenverlauf steigt der Preis Ausführung nur von außen	
Chromstahl-blechverfahren	sehr wirkungsvoll während der Mauerwerkstrennung und – abdichtung gegen alle Lastfälle im Mauerwerk möglich Erfahrung seit 20 Jahren Dauerhaftigkeit der Horizontalsperre wird für mindestens 50 Jahre gesehen Optische Überprüfung	Großer Arbeitsraum muss vorhanden sein hoher technischer Aufwand und Verschleiß der Sägen Eingriff in die statische Bausubstanz kostenintensiv Lage Wände ohne Aussteifung sind risikobehaftet Erhöhter Arbeitsschutz notwendig Komplette Gebäudetrennung Nur begrenzte Mauerdicke möglich Durchgehende Lagerfuge muss vorhanden sein Ausführung nur von außen	Bildet mit dem Mauersägeverfahren das marktdominierende System innerhalb der mechanischen Verfahren. Wichtig ist die fach- und sachgerechte Ausführung durch einen Fachbetrieb. Patente beachten

B) Chemische Verfahren – Bohrlochinjektionen

Drucklose Injektion

Bei der drucklosen Injektion wird das Injektionsmittel ohne Druck in das Bohrloch eingefüllt, sodass die Penetration oder Verteilung des Injektionsmittels über das Schwerkraftprinzip erfolgt. Da sich deshalb das Injektionsmittel selbstständig verteilen muss, benötigt es ein gutes Kriech- oder Penetrationsvermögen.

Druckinjektionen

Druckinjektionen werden insbesondere an stark durchfeuchteten oder kapillargesättigten Mauerwerken eingesetzt, da auch Porenräume mit Injektionsmittel gefüllt werden können, die kapillar nicht zugänglich sind. Die Bohrlöcher werden dazu in einem Abstand von 10 - 30 cm und einem Durchmesser von 15-25 mm gebohrt. Das Bohrloch wird waagrecht

oder schräg nach unten mit einem Bohrlochwinkel bis 20° gebohrt. Wenn die Fugen eine ausreichende Stabilität aufweisen ist es aber üblich, die Bohrlöcher waagrecht zu bohren. Aufgrund der Injektion mit Druck und einer zu erwarteten größeren radialen Ausbreitung des Injektionsmittels um das Bohrloch können Druckinjektionen einreihig ausgeführt werden. Das Druckverfahren wird mit Hochdruck (beginnend bei 10bar) und mit Niederdruck (bis 10bar) angeboten. Damit das Injektionsmittel mit Druck in die Bohrlöcher gepresst werden kann, müssen am Bohrloch entsprechende Vorrichtungen geschlagen werden. Diese druckfesten Vorrichtungen bzw. Anschlüsse werden als Bohrloch- oder Injektionspacker bzw. –dübel bezeichnet. Für das Einpressen werden Injektionspumpen oder –geräte verwendet, die nach dem Bauprinzip oder dem Antrieb unterschieden werden. Eingesetzt werden Membran- oder Airlessgeräte, Kolbenpumpen, Schneckenpressen oder Kniehebelpressen.

Paraffinverfahren

Zunächst werden Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 20 – 25 mm in Abständen von ca. 100 mm gebohrt. Der Bohrlochwinkel beträgt je nach Mauerwerk 12 - 25° leicht geneigt nach unten. Anschließend wird das Mauerwerk mit Heizstäben (250 Watt) aufgeheizt (Oberflächentemperatur 180°). Dies wird solange durchgeführt bis die Bohrlöcher keine nennenswerten Feuchtigkeiten mehr aufweisen. Während das Mauerwerk aufgeheizt wird, erfolgt die Erwärmung des Paraffins. Unmittelbar nach der Entnahme der Heizstäbe wird dann das erhitze, flüssige Paraffin gleichmäßig und stetig über mehr als zwei Stunden in die Löcher eingefüllt. Die Injektion wird entweder drucklos über Vorratsbehälter oder seit Kurzem auch per Druck durchgeführt. So werden die Poren mit dem Paraffin gefüllt und somit für aufsteigende Feuchtigkeit verstopft.

Mehrstufeninjektion

Stufe 1: Vorinjektion mit einer mikroporösen Zementsuspension, damit in klüftigen und mehrschaligem Mauerwerk die Hohlräume und Risse gefüllt werden.

Stufe 2: Einbringen des Injektionsmittels, einer Siliconmikroemulsion mittel Druckinjektion

Dadurch findet eine sofortige Aktivierung der Siliconmikroemulsion statt.

Stufe 3: Nachinjektion eines alkalischen Injektionsmittels (z.B. eines Siliconates), um die Hydrophobie des Mauerwerkes zu brechen und die physikalische Trocknung zu beschleunigen.

Dochtverfahren

In das Bohrloch wird ein Kunststoffschäum oder ein Kunst- bzw. Naturschwamm in Dochtform eingeführt. Das Injektionsmittel wird drucklos über eine Flasche zugeführt. Die eingeführten Döchte saugen sich mit dem Injektionsmittel voll, sodass es zu einem Aufquellen kommt und ein entsprechender Anpressdruck erzielt wird. Davon ausgehend erfolgt die Verteilung des Injektionsmittel über den gesamten Mauerwerksquerschnitt. Dieses Verfahren bietet gegenüber dem herkömmlichen Flascheninjektionsverfahren eine bessere Verteilung wobei diese nur drucklos erfolgt.

Tab. 2 Bewertung der verschiedenen Injektionsverfahren

Verfahren	Besonderheiten	Anwendungsgrenzen
Drucklose Injektion	<p>Injektionsmittel werden mit Gießkanne oder per Flasche in das Bohrloch eingebracht.</p> <p>Die Verteilung und Penetration des Injektionsmittel erfolgt ausschließlich drucklos</p> <p>Durch vorbereitende Maßnahmen muss das Wegfließen des Injektionsmittels verhindert werden.</p>	<p>In Abhängigkeit des Injektionsmittel können nur Mauerwerke mit einem Durchfeuchtungsgrad bis zu 60 % injiziert werden.</p> <p>Kapillargesättigtes Mauerwerk kann mit den drucklosen Verfahren nicht injiziert werden.</p>
Druckinjektion	<p>Injektionsmittel werden über Packer und dgl. mit Druck in das Bohrloch eingebracht.</p> <p>Die Verteilung und Penetration des Injektionsmittels erfolgt unter Druck</p> <p>Durch vorbereitende Maßnahmen muss das Wegfließen des Injektionsmittels verhindert werden.</p>	<p>In Abhängigkeit vom Injektionsmittel können Mauerwerke mit hohem Durchfeuchtungsgrad injiziert werden.</p> <p>Auch kapillargesättigtes Mauerwerk kann mit Druckinjektion oder der Mehrstufeninjektion injiziert werden.</p>
Paraffinverfahren	<p>Vortrocknung des Mauerwerkes erhöht die Sicherheit der Injektionsmittelaufnahme und –verteilung</p> <p>Das Injektionsmitte ist inert und damit widerstandsfähig</p>	<p>Zu hohe Temperaturen können zur Schädigung der Bausubstanz führen</p> <p>Mauerwerk muss grundsätzlich aufgeheizt werden.</p> <p>Im Bereich der Bohrlöcher kann es zu Haftungsproblemen für nachfolgende mineralische Beschichtungen</p>

		kommen
Mehrstufenverfahren	Trocknung und Reaktion des Injektionsmittels und damit Aufbau des Wirkprinzips wird unabhängig vom Durchfeuchtungsgrad und den klimatischen Bedingungen erreicht	Hoher technischer Aufwand Durch die Alkalität der Vorinjektion kann die Verteilung und Penetration des Injektionsmittels eingeschränkt werden.

C) Elektrophysikalische Verfahren:

In das Mauerwerk werden Elektroden an eine äußere Spannungsquelle angeschlossen. Als Elektroden werden Kabel-, Band-, Stab-, Gitternetz- oder gelochte Flächenelektroden verwendet. Einige Salzarten sammeln sich aber am Pluspol, was zu einer Zersetzung der Elektroden führen kann. Die Elektrode wird etwa 3 cm tief im Mauerwerk verlegt, nachdem ein Schlitz gefräst wurde. Um den notwendigen Stromübergang von der Elektrode auf das Mauerwerk sicherzustellen, wird die Elektrode mit einem speziellen Elektrodenmörtel in den gefrästen Schlitz verlegt und mit dem gleichen Mörtel verputzt. Damit wird außerdem ein mechanischer Schutz der Elektrode hergestellt. Durch den Aufbau eines elektrischen Feldes soll, physikalischen Gesetzen folgend, die Fließrichtung umgekehrt und das Wasser nach unten geleitet werden. Der Wert der Methode wird unterschiedlich beurteilt. Der gewünschte Vorgang erfordert die Verlegung von Elektroden, entweder zwei in unterschiedlicher Höhe der Wand oder einer in der Wand und einer im Erdreich. Die Elektroden werden elektrisch leitend verbunden oder an eine externe Spannungsquelle angeschlossen. Die Ö-Norm B-3355, die sich bisher als einzige Norm mit diesen Verfahren angenommen hat, benennt Auswahlkriterien und Verfahrensgrenzen.

3.3.3.1.3 Nachträgliche Vertikalabdichtung:

Sperrputze

Sperrputze sind wasserundurchlässige, zementgebundene Putze. Sie besitzen den Nachteil der hohen Rissanfälligkeit, der allen zementgebundenen Abdichtungssystemen anzulasten ist. Sperrputze werden zu Abdichtung gegen Bodenfeuchtigkeit oder nicht-drückendes Wasser entweder als Außen- oder als Innenabdichtung ausgeführt. Besonders wichtig ist deshalb eine gute Haftung auf dem Untergrund, die durch einen Spritzbewurf sichergestellt wird. Auch die Mindestschichtdicke ist unbedingt einzuhalten. Der Sperrputz muss auf der gesamten Fläche der abzudichtenden Wand ausgeführt werden und darf um Einbauten, Halterungen, Leitungen und dgl. nicht herumgeputzt werden.

Wasserundurchlässiger Beton (WU-Beton)

Bei Konstruktionen aus wasserundurchlässigem Beton übernimmt der Baustoff Beton sowohl die tragende als auch die abdichtende Funktion. Zusätzliche Abdichtungen aus Dichtungsbahnen oder –folien, Bitumen Dichteschichtungen oder Dichtungsschlämmen zum Feuchteschutz sind in der Regel nicht erforderlich.

Mineralische Dichtungsschlämme

Mineralische Dichtungsschlämme sind ein- oder zweikomponentige Werk trockenmörtel, die auf der Baustelle unter Zugabe von Anmachwasser hergestellt werden. Sie bestehen aus feinkörnigen Quarzsanden, Zement als Bindemittel sowie aus physikalisch oder chemisch wirkenden Zusätzen. Unterschieden werden mineralische starre und mineralische flexible Dichtungsschlämme. Ihre Dichtigkeit erreichen die mineralischen Dichtungsschlämme aufgrund des weitgehenden wasserundurchlässigen Gefüges der Mörtelschicht.

Bitumen Dickbeschichtungen:

Diese Dickbeschichtungen sind

- lösemittel- und asbestfaserfrei und deshalb als umweltfreundlich einzustufen
- wegen der Lösemittelfreiheit nicht gesundheits- oder feuergefährlich
- leicht zu verarbeiten, auch an senkrechten Bauwerksflächen
- auch bei schwierig abzudichtenden Details und Bauteilen einfach auszuführen
- vollflächig haftend auf mineralischen Untergründen aufzubringen
- hoch flexibel und rissüberbrückend bis 5mm
- gegen alle Lastfälle einsetzbar
- druckwasserdicht über nachträglich entstehende Risse nur im System
- in einem Temperaturbereich von $>1^{\circ}\text{C}$ bis ca. 40°C verarbeitbar
- bilden eine naht- und fugenlose Flächenabdichtung.

Selbstklebende Bitumendichtungsbahnen:

Besonders konzipierte Dichtungsbahnen werden neben der Flachdach- und Brückenabdichtung auch für die vertikale Bauwerksabdichtung verwendet. Die Bahnen eignen sich besonders für die Abdichtung großer und ebener Flächen mit wenigen oder keinen

Durchbrüchen. Diese Dichtungsbahnen erfordern besonders im Wand-Sohlplatten-Anschluss einen lunkerfreien und ebenflächigen Untergrund. Der Untergrund für diese Dichtungsbahnen muss tragfähig, weitgehend eben, frei von Fehlstellen, klaffenden Rissen und Graten sowie staubfrei sein. Die Flächen dürfen keine Reste von Öl und Fett oder Zementschichten aufweisen. Kanten sind zu runden. Der Untergrund muss grundiert werden. Bis zur Verklebung der Bahnen sind die systembedingten Abtrocknungszeiten zu berücksichtigen.

Flexible Bitumendichtungsbahnen:

Seit Mitte der 90er Jahre wird eine flexible Abdichtungsbahn angeboten, die den Vorteil der Abdichtung mit Dichtungsbahnen und spachtelbaren Beschichtungen (Bitumenbahnen und Bitumen-Dickbeschichtungen) ideal miteinander kombiniert. Die äußerste Lage besteht aus einer 2 mm dicken Bitumenabdichtungsbahn mit Glasvlies, die absolut wasserdicht, mikroben- und wurzelbeständig und resistent gegenüber Salzen ist. Die zweite Materialkomponente besteht entweder aus einem dauerelastischen, komprimierbaren und mit einem modifiziertem Bitumenacrylat imprägnierten Polyurethanweichschaumstoff oder aus einem geschlossenzelligen PE-Weichschaumstoff. Beim Anfüllen des Erdreiches komprimiert sich dieser Weichschaumstoff als Ausgleichsschicht und legt sich vollständig an den Baukörper an. Neben dem Ausgleich von Untergrundunebenheiten findet eine Entkopplung vom Untergrund statt, sodass die Abdichtungsschicht durch nachträgliche Setzungen und dergleichen nicht beschädigt wird. Dies bedeutet, dass die Abdichtungsschicht nicht mit dem Untergrund verbunden ist. Kommt es nachträglich zu Setzungen oder Rissen im Untergrund, so ist die Vertikalabdichtung davon nicht betroffen. Die Abdichtung liegt wie eine zweite Schale vor dem Bauwerk.

Vorteile:

Mit der Bauwerksabdichtung wird gleichzeitig eine zusätzliche Wärmedämmung erreicht. Es werden keinerlei Untergrundvorbereitungen notwendig, da sich die Abdichtung dem Mauerwerk anpasst.

Die Ausführung ist witterungsunabhängig und der Erdaushub ist relativ gering, da die vorkonfektionierten Dichtungsmatten an das Mauerwerk gestellt werden und eine Anpassung durch den Erddruck erfolgt.

Flexible Abdichtungsbahnen werden thermisch miteinander verbunden. Mit Heißluft werden die Dichtungsbahnen in der Überlappung gleichmäßig plastifiziert und unter Druck zusammengefügt.

Kunststoffdichtungsbahnen

Die Dichtungsbahnen sind entweder durch Verlegung mit heiß zu verarbeitender Klebmasse oder durch lose Verlegung mit Auflast zu verarbeiten. Für die Verlegung mit heiß zu verarbeitenden Klebmassen dürfen nur bitumenverträgliche Kunststoff-Dichtungsbahnen verwendet werden. Die Kunststoff-Dichtungsbahnen sind im Bürstenstreichverfahren oder im Flämmverfahren zu verarbeiten. So weit die Naht und Stoßverbindungen nicht mit Bitumen verklebt werden, ist sicherzustellen, dass die zu überlappenden Teile der Kunststoff-Dichtungsbahnen frei von Klebmassen sind.

Für die Herstellung der Naht- und Stossverbindungen müssen die Verbindungsflächen trocken und frei von Verunreinigungen sein. Die Verbindungen können durch Quellschweißen, Warmgasschweißen, Heizelementschweißen oder Verkleben mit Bitumen durchgeführt werden.

Perimeterdämmung

Analog zu den Fassadenwänden hat sich auch bei Kellerwänden eine Außendämmung bewährt. Hierbei muss der Begriff „außen“ doppelt gesehen werden. Die Dämmung liegt nicht nur außerhalb der tragenden Konstruktion der Bauwerksabdichtung. Der Nachweis der Auftriebssicherung im Bereich von ständig oder langanhaltend drückendem Wasser gilt als erbracht, wenn:

die Extruderschaumplatten vollflächig mit dem zu dämmenden Bauteil verklebt und so befestigt werden, dass ein Hinterlaufen der Wärmedämmung mit Wasser nicht möglich ist bei einer Dicke der Dämmstoffplatten von 120 mm der Grundwasserhöchststand bis 1 m unter Geländeoberkante und bei der Dämmstoffplatten von 80 mm der Grundwasserhöchststand bis 0,5 m unter Geländeoberkante reicht. Zwischenwerte können interpoliert werden

Es ist zu gewährleisten, dass die Extruderschaumplatten gegen Auftrieb gesichert sind.

Innenabdichtung

In der Regel wird immer angestrebt, die Abdichtung auf der dem Wasser zugekehrten Seite des zu schützenden Bauwerkes oder Bauteils auszuführen. Das Aufbringen einer Abdichtung auf der Außenseite der erdberührten Bauteile ist allerdings sehr oft nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zu vertreten.

Mögliche Gründe können sein:

- Überbauung
- Nebenbebauungen
- Versorgungsleitungen
- große Eintauchtiefe
- ständige Druckwasserbelastung
- Beeinträchtigung der Standsicherheit

Die nachträgliche Innenabdichtung gilt in erster Linie für die Lastfälle Bodenfeuchtigkeit und nichtdrückendes Wasser.

Vertikalinjektionen

Eine technische Alternative zur nachträglichen Vertikalabdichtung erdberührter Bauteile durch Außen- oder Innenabdichtungen ist die sogenannte Flächeninjektion, Schleierinjektion oder Vergelung. Diese Abdichtungsart wird dann eingesetzt, wenn die örtlichen oder objektabhängigen Faktoren keine andere Abdichtung zulassen. Zu diesen Bedingungen gehört zB eine flächige Außenabdichtung herzustellen, ohne angrenzendes Erdreich entfernen zu müssen. Obwohl diese Begriffe nicht eindeutig definiert und die Übergänge fließend sind, werden Flächenabdichtungen vor dem Baukörper als Schleierinjektion und Abdichtungen durch Injektionen im Baukörper als Vergelung gezeichnet.

Bei Schleierinjektionen ist eine sorgfältige Bestandsaufnahme und Beurteilung der Feuchtebelastung erforderlich, um gezielte, genau abgestimmte Maßnahmen planen und durchführen zu können. Die Flächen- oder Schleierinjektionen werden für Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit oder nicht drückendes Wasser eingesetzt. Ausgeführt werden flächige Horizontal- oder Vertikalabdichtungen oder auch partielle Abdichtungen bei Rissen, Hohlstellen, Anschlüssen, Durchdringungen, Fugen, Rohrmuffen, etc.

Für die Injektionsabdichtungen sehen verschiedene Dichtungsmaterialien zur Verfügung.

Tab. 3 Einsatzgebiete von Injektionsstoffen

Material	Bauwerkszustand		Beanspruchung nach der Injektion		Bemerkung
	feucht	wasser- führend	Boden- feuchtigkeit	Nichtdrückendes / drückendes Wasser	
Bentonit	ja	ja	ja	ja	keine
Silikat	ja	ja	ja	nur in Kombination mit Zement	keine Verformungs- fähigkeit
Zement	ja	ja	ja	nur in Kombination mit Silikaten	keine Verformungs- fähigkeit
Epoxidharz	nur feuchte- verträgliche Harze	ja	ja	nein	keine Verformungs- fähigkeit
Polyurethanharz	ja	ja	ja	ja	keine
Acrylharz	ja	ja	ja	ja	keine

3.3.4 Zugluft und Gebäudedichtheit

Im Sanierungsfall müssen Gebäudeundichtheiten gesondert betrachtet werden. Da Sanierungen von Luftundichtheiten sehr komplex ausfallen können, ist eine gesamt-heitliche Betrachtung der Problemstellung erforderlich. Oft bringt auch eine entsprechende Messung zusätzliche Kenntnisse über die Ausführung von Bauteilen. Siehe auch Kapitel 3.1.5 Seite 21.

3.3.5 Akustik

Sinnvollster Zeitpunkt für die Umsetzung akustischer Sanierungsmaßnahmen ist ein Umbau oder eine Generalsanierung. Analog zur Luft- und Trittschalldämmung sollte im Hochbauprojekt der Nachweis einer ausreichenden Raumakustik geführt werden. Die akustischen Sanierungsmaßnahmen bedürfen einer sorgfältigen Planung und sind sinngemäß wie unter Pkt. 3.1 „Planung von Neubauten“ auszuführen. 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 Klassen, Werk-, Gruppenräumen, Turnsälen sowie in den Foyers ist bei einem Umbau oder bei einer Sanierung des Gebäudes auf jeden Fall in Betracht zu ziehen. 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 (Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik) Kontakt aufzunehmen. Als ausreichend kann ein Nachweis gemäß ÖNORM B 8115-3 (für Klassenräume, Foyers/Gänge) und ÖNORM B 2608 (Sporthallen) gelten. Als leicht verständlicher Umsetzungsvorschlag kann anstatt der normativ geregelten Raumakustik-anforderung der Einsatz der in der Tabelle (Kapitel "Planung von Neubauten") genannten Absorberflächen sein. Die notwendigen Absorberflächen sind möglichst im hinteren (normalerweise der Tafel gegenüberliegenden) oberen Wandbereich des Klassenraumes sowie im hinteren und seitlichen Deckenbereich anzubringen (u-förmig nach vorne zur Tafel geöffnet).

3.3.6 Lärmbelastung

Bei bestehenden Schulen wird bei einer Lärmbelästigung der Schüler durch Lärm von Außen 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 weitere jedoch nur sehr schwer zu realisierende Möglichkeit ist, den Lärmerreger aus der unmittelbaren Nachbarschaft der Schule zu entfernen. Dies würde z.B. bedeuten, eine Straße zu verlegen bzw. einen Betrieb abzusiedeln. Solche Maßnahmen werden nur in den seltensten Fällen umsetzbar sein.

4 Weitere Informationen und Unterlagen

4.1 Innenraumluft allgemein

Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft & Kommission für Reinhaltung der Luft der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien: 2003.

Konsumentenbroschüre "Wegweiser für eine gesunde Raumluf", erhältlich beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

4.2 Radon

ÖNORM S 5280-2 (Vornorm), Radon Teil 2: Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden. Österreichisches Normungsinstitut, Wien: 2003.

ÖNORM S 5280-1 (Vornorm), Radon Messverfahren und deren Anwendungsgebiete. Österreichisches Normungsinstitut, Wien: 1998.

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

Radon-Handbuch Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn & Salzgitter: 2001.

Richtlinie für bautechnische Maßnahmen zur Vorsorge gegen Radon bei Neubauten im Gemeindegebiet Umhausen. Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck, 2001.

Informationen zur Radonsituation in der Schweiz www.ch-radon.ch

Informationen zur Radonsituation in Südtirol

www.provinz.bz.it/umweltagentur/2908/radon/index_d.htm

4.3 Akustik

ÖNORM B 8115-3, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Raumakustik. Österreichisches Normungsinstitut, Wien; Ausgabe 1. April 1996