

Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens

Autoren:

A. Greml, E. Blümel, A. Gössler, R. Kapferer,
W. Leitzinger, J. Suschek-Berger, P. Tappler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

14/2008

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens

Autoren:

DI Andreas Greml (Projektleitung) – FHS-KufsteinTirol

DI Ernst Blümel u. DI (FH) Arnold Gössler – AEE INTEC

DI Roland Kapferer – ENERGIE TIROL

Ing. Wolfgang Leitzinger – arsenal research

Mag. Jürgen Suschek-Berger – Interuniversitäres Forschungszentrum

DI Peter Tappler – IBO/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems



Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie Haus der Zukunft im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie Haus der Zukunft intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis:

Kurzfassung	8
Abstract	10
1 Einleitung und Vorbemerkungen	12
1.1 Ausgangspunkt des Forschungsprojektes.....	12
1.2 Ziel des Forschungsprojektes	12
1.3 Warum ist dieses Projekt für die Programmlinie von Interesse?	13
1.4 Vorgangsweise – Übersicht.....	13
1.5 Einschränkungen und Ergänzungen	16
2 Österreichlandkarte „Klassenzimmerlüftung“	17
3 Ausgewählte Schulen für die Evaluierung	19
4 Bestehende Normen, Studien und Umsetzungshilfen	21
4.1 Wichtige Normen zu Klassenzimmerlüftungen	21
4.2 Luftqualitätsuntersuchungen an Schulen ohne mechanische Lüftungen....	22
4.3 Vergleich von Schulen mit Fensterlüftung und mech. Lüftungsanlagen	23
4.4 Luftmengenuntersuchungen bei Schulen mit mech. Lüftungsanlagen	23
4.5 Studien zur Wirkung erhöhter CO ₂ -Werte auf die Leistungsfähigkeit	24
4.6 Studien über einzelne Schulen mit Lüftungsanlagen.....	27
4.7 Ausschreibungs-, bzw. Planungshilfen	28
4.8 Laufende Forschungsprojekte	28
5 Raumklima und Behaglichkeit	29
5.1 Thermische Behaglichkeit	30
5.2 Raumluftqualität	38
5.3 Schall	63
6 Grundlagen – Klassenzimmerlüftungsanlagen	68
6.1 Fachbegriffe zum Thema Klassenzimmerlüftung	68
6.2 Lüftungssysteme	72
6.3 Zentral – Semizentral – Dezentral	73
6.4 Lüftungsprinzipien	85
6.5 Arten der Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung	95
6.6 Filter	102
6.7 Ventilatoren	104
6.8 Energetische Kennwerte bei Lüftungsanlagen	107
6.9 Möglichkeiten der Einsparung von el. Energie bei Lüftungsanlagen	114

7	Untersuchung auf flüchtige organische Verbindungen (VOC)	116
7.1	Probenahme und Analytik der VOC-Untersuchung	116
7.2	Beschreibung der Proben und Ergebnisse zur VOC-Untersuchung	117
7.3	Beurteilung der VOC-Konzentration in der Raumluft.....	118
8	Akzeptanzanalyse	124
8.1	Vorgangsweise.....	124
8.2	Ergebnisse	124
8.2.2	Ergebnisse der Befragung der SchülerInnen.....	134
8.2.3	Ergebnisse der Befragung der Schulfürte	137
8.2.4	Ergebnisse der Befragung der ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervvertreterInnen.....	144
8.2.5	Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse	147
8.2.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Akzeptanzanalyse	149
9	Technische Evaluierung	152
9.1	Vorgangsweise.....	152
9.1.1	Arbeitsanweisung für die Anlagenuntersuchung.....	152
9.1.2	Hilfsmittel für die Anlagenuntersuchung	152
9.1.3	Messtechnik.....	152
9.2	Messwertübersicht – Luftqualität, Behaglichkeit.....	153
9.3	Beispiel Anlagensteckbrief – VS Ainet	154
9.4	Beurteilungskriterien – 61 Qualitätskriterien	160
9.4.1	Gebäudevoraussetzungen.....	161
9.4.2	Allgemeine Dimensionierung	165
9.4.3	Ansaugung, Fortluft, Erdreichwärmetauscher.....	176
9.4.4	Lüftungsgerät / Wärmetauscher.....	186
9.4.5	Qualitätskriterien für das Verteilnetz (Luftleitungen)	205
9.5	Qualitative Ergebnisse der Evaluierung	216
9.6	Besondere Lüftungskonzepte in der Evaluierung	255
10	Typische Kritikpunkte bei Klassenzimmerlüftungen	258
11	Planungsleitfaden – Klassenzimmerlüftung	259
11.1	Checkliste für die Basisdatenerhebung	260
11.2	Entscheidungshilfen	263
11.2.1	Entscheidung Teillüftung – Volllüftung.....	263
11.2.2	Reine Lüftung – Luftheizung.....	264
11.2.3	Zentral – dezentral – semizentral.....	265

11.2.4	Quell- oder Mischlüftung	267
11.2.5	Sternverrohrung oder „dezentral“ über Abzweiger	268
11.2.6	Steuerung und Regelung	269
11.2.7	Frostschutzstrategie	270
11.3	Empfehlungen	273
11.3.1	Integration der Rohrleitungen	273
11.3.2	Energetische Standards	274
11.3.3	Innenraumlufthqualität	274
11.3.4	Einhaltung der Raumlufthfeuchte.....	275
11.3.5	Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich	277
11.3.6	Akustik	278
11.3.7	Brandschutz.....	278
11.3.8	Sommerlicher Überwärmungsschutz	279
11.3.9	Organisatorische Kriterien	280
11.3.10	Wirtschaftliche Kriterien	280
11.4	Die 61 Qualitätskriterien	280
12	Ausschreibung	281
13	Finanzielle Betrachtung	282
13.1	Investitionskosten.....	282
13.2	Betriebskosten	283
13.2.1	Strombedarf	283
13.2.2	Instandhaltung	284
13.3	Einsparungen	285
13.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	286
13.4.1	Mechanische Lüftung gegenüber Fensterlüftung.....	286
13.4.2	Zentral gegenüber dezentral.....	287
14	Forschungsbedarf/Entwicklungsbedarf	288
15	Resümee	290
16	Abkürzungsverzeichnis	291
17	Abbildungsverzeichnis	292
18	Literaturverzeichnis	297
18.1	Allg. Literatur	297
18.2	Normen und Richtlinien	299

Der Anhang befindet sich in einem eigenen Dokument bzw. File.

Kurzfassung

Ausgangspunkt der Arbeit: Mechanische Klassenzimmerlüftungen mit Wärmerrückgewinnung sind sowohl aus dem Anspruch einer lerngerechten Umgebung, d.h. einer ausreichenden Luftqualität als auch aus dem Ansatz der Energieeinsparung bei Kindergärten und Schulen unentbehrlich. Die mangelnde Luftqualität bei Schulen mit Fensterlüftung wird in zahlreichen Studien hinreichend belegt. Dass gesunde, frische Luft aber eine wesentliche Grundbedingung für einen sehr guten Lernerfolg darstellt, steht außer Zweifel. Außer Diskussion steht auch, dass das Thema mechanische Klassenzimmerlüftung noch in den Anfängen steckt und die Erfahrungen mit bestehenden Anlagen bisher nicht ausreichend erfasst und für zukünftige Projekte nutzbar gemacht wurden.

Ziel: Wichtigstes Endziel im Hinblick auf die Ziele der Programmlinie „Haus der Zukunft“ war es, positive Lösungen, Fehler und Mängel zu sammeln und aus den Erfahrungen der Evaluierung einen Planungsleitfaden bzw. Qualitätskriterien für die zukünftige Umsetzung von Klassenzimmerlüftungen bei Neubau und Sanierung zu schaffen, um die Qualität zu verbessern und die Verbreitung von Klassenzimmerlüftungen zu erleichtern.

Vorgangsweise: Das Projekt gliedert sich in zwei große Teilbereiche – die Evaluierung der mechanischen Klassenzimmerlüftungen – unterteilt in eine Akzeptanzanalyse und eine technische Evaluierung – und die Erstellung eines Planungsleitfadens mit einer Anzahl von detaillierten Qualitätskriterien.

Der Evaluierung vorgelagert war die Erstellung einer „Österreich-Landkarte der bestehenden Klassenzimmerlüftungen“ sowie die Sammlung bzw. Sichtung von Studien zum Thema „Klassenzimmerlüftung“. Aus dem gesammelten Pool von Schulen mit mechanischen Klassenzimmerlüftungen wurden 16 Schulen für die Evaluierung herangezogen. Neben den technischen Aspekten wurde ein besonderer Fokus auf die Erfassung und Darstellung der Akzeptanz bei den bisherigen Nutzern (SchülerInnen, LehrerInnen, HausmeisterInnen) gelegt. Die Evaluierung teilt sich daher in eine Akzeptanzanalyse und eine technische Evaluierung.

Akzeptanzanalyse: Für die Akzeptanzanalyse wurde jeweils ein schriftlicher Fragebogen für SchülerInnen, LehrerInnen, HausmeisterInnen und einer für ArchitektInnen, PlanerInnen und GebäudeeigentümerInnen entwickelt.

Technische Evaluierung: Bei der technischen Evaluierung wurde folgenden Punkten besonderes Augenmerk geschenkt: der Wahl des Lüftungskonzeptes (dezentral, semizentral, zentral), der Luftmengenwahl, der Luftverteilung, dem Druckverlust, der Art der Wärmerückgewinnung, dem elektrischen Energiebedarf, der Art des Vereisungsschutzes, der Art der Nacherwärmung auf Komforttemperatur, der erreichten Luftqualität (CO₂, Feuchte, VOC), notwendigen Wartungsarbeiten bzw. Wartungskosten und den tatsächlichen Schallbelastungen.

Planungsleitfaden: Aufbauend auf bestehenden Planungsrichtlinien, Normen bzw. Normentwürfen und den Ergebnissen der Akzeptanzanalyse und der technischen Evaluierung wurden ein Planungsleitfaden bzw. detaillierte 61 Qualitätskriterien für „Klassenzimmerlüftungen“ erarbeitet.

Projekthomepage: www.komfortlüftung.at bzw. www.xn--komfortlftung-3ob.at

Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick:

- **Österreichlandkarte – Klassenzimmerlüftung:** Die Sammlung der Klassenzimmerlüftungen ergab 59 Schulen mit Lüftungsanlagen in Österreich (Stand Dez. 2007).
- **Übersicht über Studien zum Thema Klassenzimmerlüftungen:** Zahlreiche Studien in Deutschland, der Schweiz und Österreich zum Thema Luftqualität in Schulen zeigen, dass mit einer Fensterlüftung keine lerngerechte Luftqualität erreicht werden kann. Die signifikante Verschlechterung der Leistungen bei ungenügenden, aber nutzungstypischen Luftqualitäten in Klassenzimmern ohne mechanische Lüftung wurde ebenfalls eindeutig nachgewiesen.
- **Akzeptanzanalyse:** Die Akzeptanzanalyse verdeutlichte die Notwendigkeit einer intensiven Kommunikationsstrategie mit den LehrerInnen und SchülerInnen, um Missverständnisse und falsche Erwartungen zu minimieren und eine optimale Nutzung der Lüftungsanlage zu erreichen. Fehlende Information und Kommunikation bringen Akzeptanzprobleme und führen, insbesondere bei Störungen der Anlage in der Einführungsphase, zu falschen Reaktionen und unzufriedenen NutzerInnen.
- **Technische Evaluierung:** Klassenzimmerlüftungen stellen bisher für BauherrInnen, ArchitektInnen und LüftungsplanerInnen ein noch eher selten beanspruchtes Betätigungsfeld dar. Einige Unsicherheit bzw. beträchtliches Verbesserungspotenzial zeigte sich vor allem bei der Systemwahl, den notwendigen Luftmengen, der Luftführung (Kaskadennutzung) und der Regelungsstrategie.
- **Planungsleitfaden – 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen:** Der Planungsleitfaden setzt sich aus folgenden drei Bereichen zusammen:
 - 1.) Checkliste für die Basisdatenerhebung
 - 2.) Entscheidungshilfen und Empfehlungen
 - 3.) 61 Qualitätskriterien

Resümee: Schulneubauten bzw. Schulsanierungen ohne Einbau einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung sind nicht mehr zeitgemäß. Der Nachweis, dass mit einer Fensterlüftung keine ausreichende Luftqualität erreicht werden kann, wurde durch Studien eindeutig erbracht. Dass die bisher umgesetzte Anlagenqualität teilweise noch zu wünschen übrig lässt, ist einerseits auf die bisher sehr geringen Erfahrungen der PlanerInnen und andererseits auf unzureichende Vorgaben der AuftraggeberInnen zurückzuführen. Zahlreiche sehr gute Beispiele zeigen aber auch, dass eine zufriedenstellende Klassenzimmerlüftung ohne großen Aufwand und mit moderaten Kosten ausgeführt werden kann. Mit den 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen besteht nun für die Auftraggeber die Möglichkeit, die Anlagenqualität hinreichend genau zu definieren. Der Planungsleitfaden unterstützt die Sammlung aller erforderlichen Informationen und die konzeptionellen Überlegungen einer qualitätsorientierten Planung. Unter Einbeziehung des höheren Lernerfolges ist eine Lüftungsanlage auch wirtschaftlich von Vorteil. Die Notwendigkeit bzw. der „Wert“ einer guten Gebäudebetreuung zeigt sich bei einer mechanischen Klassenzimmerlüftung besonders deutlich.

Das Projektteam: DI Andreas Greml (PL) – FHS-KufsteinTirol bzw. TB Andreas Greml, DI Ernst Blümel u. DI (FH) Arnold Gössler – AEE INTEC, DI Roland Kapferer – ENERGIE TIROL, Ing. Wolfgang Leitzinger – arsenal research, Mag. Juergen Suschek-Berger – Interuniversitäres Forschungszentrum Graz, DI Peter Tappler – IBO/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems.

Abstract

Starting point: Due to the requirements of a learner-friendly approach (i.e. satisfactory indoor air quality) as well as energy savings in kindergartens and schools mechanical classroom ventilation systems (with heat recovery) are essential in today's educational environment. Numerous studies have shown that schools with ventilation via windows have bad indoor air quality. It is beyond doubt that healthy and fresh air represents a major prerequisite for a successful learning process. However, in Austria research in this field is still at its beginning and relevant experience has neither been sufficiently documented nor can be used adequately for future projects.

Aim: The most important final aim of this project relating to the aims of the program "Building of Tomorrow" is to collect positive solutions, mistakes and shortcomings. Based on experiences during the evaluation process a planning guideline and quality criteria for the future implementation of classroom ventilation systems in new buildings or the renovation of already existing buildings are developed in order to improve the quality and to support the distribution of classroom ventilation systems.

Procedure: The evaluation consists of two main parts: the evaluation of mechanical classroom ventilation systems – divided into an analysis of acceptance and the technical analysis – and the development of a planning guideline as well as detailed quality criteria.

This evaluation was based on the previously developed "Austrian map of current classroom ventilation systems" as well as the collection and analysis of already existing individual studies. 16 schools were selected from the data base of schools with mechanical classroom ventilation systems and took part in the evaluation process. The project not only focused on technical aspects, but also concentrated on the collection of data and the presentation of the analysis of acceptance among present users (pupils, teachers, janitors). Therefore the evaluation consists of the analysis of acceptance and a technical evaluation.

Analysis of acceptance: For the analysis of acceptance two written questionnaires were developed: one for pupils, teachers and janitors and one for architects, planners and building owners.

Technical evaluation: The technical evaluation especially focuses on the following aspects: the choice of ventilation concept (decentral, semi-central, central), air mass and air distribution, the loss of pressure, the type of heat recovery, the electrical energy need, the type of anti-freezing protection, the type of post heating to comfort temperature, the indoor air quality achieved (carbon dioxide, humidity, VOC), necessary repairs and maintenance costs as well as the current noise load.

Planning guideline: A planning guideline and 61 detailed quality criteria for classroom ventilation systems were developed based on the results of existing planning directives, drafts of norms and norms as well as the results of the analysis of acceptance and the technical evaluation.

Project homepage: www.komfortlüftung.at and www.xn--komfortlftung-3ob.at

An overview of the most important results:

- **Austrian map of current classroom ventilation systems:** The database contained 59 schools with classroom ventilation systems (Dec. 2007).
- **Overview of studies in the field of classroom ventilation systems:** Numerous studies in Germany, Switzerland and Austria dealing with indoor air quality show that ventilation via windows does not achieve learner-friendly indoor air quality. It was clearly proven that insufficient indoor air quality which is typical for classrooms without mechanical ventilation systems leads to a significant decrease in performance.
- **Analysis of acceptance:** The analysis of acceptance illustrated the necessity of an intense communication strategy with teachers and pupils in order to minimize misunderstandings and to achieve an ideal use of the ventilation system. A lack of information and communication leads to problems of acceptance and to unsuitable reactions and unsatisfied users especially in cases of failure in the implementation phase.
- **Technical evaluation:** So far building owners, architects and planners of ventilation systems have not been very familiar with classroom ventilation systems and thus feel insecure in this field. A significant potential for improvement in the choice of systems, the necessary air mass, the air guidance (use of cascades) and controlling strategies has been noticed.
- **Planning guideline – 61 quality criteria for classroom ventilation systems:** The planning guideline consists of three parts:
 - 1.) Checklist for basis data collection
 - 2.) Guidelines and recommendations
 - 3.) 61 Quality criteria

Summary: New or renovated school buildings without mechanical ventilation systems including heat recovery do not fulfill the requirements of today's modern building standards. It is also recommended to install humidity recovery systems. Studies in Austria, Germany and Switzerland clearly showed that ventilation via windows does not lead to satisfactory indoor air quality. On the one hand, the partly unsatisfactory quality of ventilation systems implemented so far is due to the planners' lack of experience and on the other hand, it is due to insufficient specifications made by clients. However, numerous excellent examples show that satisfactory classroom ventilation systems can be installed without considerable effort and at moderate costs. With the aid of the 61 quality criteria for classroom ventilation systems clients can sufficiently specify the quality of the systems. The planning guideline enhances the collection of relevant information and supports the planners in their conceptual phases. Taking the increased learning benefit into consideration mechanical ventilation systems also lead to a financial benefit. The need for and the "value" of the high quality building support is evident in the context of mechanical classroom ventilation systems.

Project team: DI Andreas Greml (PL) – FHS-KufsteinTirol and TB Andreas Greml, DI Ernst Blümel and DI (FH) Arnold Gössler – AEE INTEC, DI Roland Kapferer – ENERGIE TIROL, Ing. Wolfgang Leitzinger – arsenal research, Mag. Juergen Suschek-Berger – Interuniversitäres Forschungszentrum Graz, DI Peter Tappler – IBO/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems.

Project homepage: www.komfortlüftung.at and www.xn--komfortlfung-3ob.at

1 Einleitung und Vorbemerkungen

1.1 Ausgangspunkt des Forschungsprojektes

Zahlreiche Untersuchungen und Messungen in Österreich, Deutschland und der Schweiz an Schulen ohne Lüftungsanlagen zeigen, dass meist schon nach ca. 10 bis 15 Minuten die Luftqualität, insbesondere die CO₂-Werte, in den Klassenzimmern nicht mehr lerngerecht sind, d.h. über 1.400 ppm betragen. Spitzenwerte, die auch deutlich über die maximale Arbeitsplatzkonzentration von 5.000 ppm hinausgehen, sind keine Seltenheit.

Eine dauerhaft gute Raumlufthqualität bzw. Frischluftzufuhr in Klassenzimmern ist, zumindest im Winter, in der Regel nur über eine mechanische Lüftungsanlage sicherzustellen. Bei Schulen in lärmbelasteten Zonen trifft dies auf das gesamte Jahr zu.

Einzelne Schulen in Österreich wurden schon mit Klassenzimmerlüftungen ausgestattet, die Erfahrungen wurden bisher jedoch nicht systematisch gesammelt und für zukünftige Projekte nutzbar gemacht.

1.2 Ziel des Forschungsprojektes

Ziel des Forschungsprojektes ist es, die bisherigen Erfahrungen mit mechanischen Klassenzimmerlüftungen zu sammeln und daraus Verbesserungen für zukünftige Anlagen abzuleiten, bzw. einen Planungsleitfaden für Klassenzimmerlüftungen zu erstellen. Durch das Aufzeigen von vermeidbaren Fehlern bzw. guten Lösungen anhand einer systematischen Untersuchung von 16 Klassenzimmerlüftungen in Österreich wird eine weitere Verbesserung und größere Verbreitung von Klassenzimmerlüftungen angestrebt.

Erreichte Teilziele:

- 1.) Es steht eine Liste bzw. eine „Österreich-Landkarte Klassenzimmerlüftung“ von österreichischen Schulen mit mechanischen Lüftungen zur Verfügung.
- 2.) Es wurden die Ergebnisse von bisherigen, schon abgeschlossenen Studien zu einzelnen Klassenzimmerlüftungen im deutschsprachigen Raum (A, D, CH, I) gesammelt und deren Ergebnisse zusammengestellt.
- 3.) Es wurden die unterschiedlichen Anforderungen an die Luftqualität in Klassenzimmern, insbesondere CO₂, beleuchtet und konkrete Empfehlung ausgearbeitet.

- 4.) Es steht eine fundierte Akzeptanzanalyse (LehrerInnen, SchülerInnen, Hauswarte, GebäudeeigentümervertreterInnen) von Klassenzimmerlüftungen zur Verfügung.
- 5.) Es stehen CO₂-Messungen, Schallmessungen mit Frequenzanalyse und VOC-Messungen von Klassenzimmerlüftungen mit mechanischer Lüftung zur Verfügung.
- 6.) Die beiden im Rahmen von „Haus der Zukunft“ geförderten Schul- bzw. Kindergartenprojekte mit Klassenzimmerlüftungen (Ziersdorf und Schwanenstadt) wurden in die Untersuchungen eingebunden und damit ebenfalls evaluiert.
- 7.) Es steht eine Sammlung der häufigsten Probleme bei Klassenzimmerlüftungen zur Verfügung.
- 8.) Es entstand ein fundierter Planungsleitfaden: z.B. konkrete Empfehlungen für zentrale, dezentrale, semizentrale Lösungen, Ausstattungsanforderungen, Regelungsstrategie, ...) und 61 Qualitätskriterien für „Klassenzimmerlüftungen“.
- 9.) Es entstand innerhalb der Projekthomepage www.komfortlüftung.at bzw. www.xn-komfortlüftung-3ob.at der Bereich Klassenzimmerlüftung.

1.3 Warum ist dieses Projekt für die Programmlinie „Haus der Zukunft“ von Interesse?

Dieses Projekt soll durch die Steigerung der Anlagenqualität und die Vermeidung von Planungs- und Ausführungsfehlern die Verbreitung von Klassenzimmerlüftungen verbessern und beschleunigen. Der Markt für Klassenzimmerlüftungen ist auch international noch nicht entwickelt und bietet daher auch Chancen für österreichische Firmen mit speziellen Lösungen – insbesondere im Sanierungsbereich.

1.4 Vorgangsweise – Übersicht

Schritt 1: Erstellung einer „Österreich-Landkarte der Klassenzimmerlüftungen“ mit möglichst allen Schulen (Kindergärten) in Österreich, die mit Klassenzimmerlüftungen ausgestattet sind. Die Recherche erfolgte über Energieinstitute, Schulbehörden, Firmen, Förderstellen, etc.

Schritt 2: Sichtung von Studien: Zum Thema Luftqualität in Schulen bzw. für einzelne Schulen mit mechanischen Lüftungen wurden teilweise schon konkrete Untersuchungen gemacht. Diese Studien wurden gesammelt und deren jeweilige Quintessenz zusammengefasst bzw. in den Endbericht eingearbeitet.

Schritt 3: Ausarbeitung des Grundkonzeptes für die Akzeptanzanalyse bzw. technische Evaluierung: Für die Akzeptanzanalyse wurden für die SchülerInnen, LehrerInnen, Hauswarte/wärtinnen und GebäudeeigentümerversreterInnen jeweils speziell angepasste schriftliche Fragebögen entwickelt. Diese Befragung erforschte die Zufriedenheit oder Unzufriedenheit mit den eingesetzten Lüftungsanlagen und die dahinter liegenden Gründe.

Die Fragebögen wurden den einzelnen Zielgruppen (SchülerInnen, LehrerInnen) möglichst im Zuge der technischen Evaluierung übergeben, bzw. auch wieder eingesammelt. Die Hausmeister erhielten aufgrund der vertiefenden wartungstechnischen Fragen beim Ausfüllen des Fragebogens die volle Unterstützung seitens der Person, die die technische Evaluierung durchführte. EigentümerversreterInnen, ArchitektInnen, und PlanerInnen wurden telefonisch befragt.

Für die technische Evaluierung wurde eine Grundversion der 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen aufgestellt und die Anlagen danach bewertet.

Schritt 4: Workshop 1 – Abstimmung Grundkonzept: Gemeinsame Abstimmung von Akzeptanzanalyse und technischer Evaluierung und Auswahl der einzelnen Objekte für den Pretest.

Schritt 5: Pretest: Test der Akzeptanzanalyse in einer Schule und der technischen Evaluierung anhand jeweils einer Schule (Kindergarten) durch je einen Projektpartner.

Schritt 6: Überarbeitung und Festlegung der Akzeptanzanalyse und der technischen Evaluierung: Die im Pretest gewonnenen Erkenntnisse wurden in die endgültige Vorgangsweise bzw. die Vorgehensvorgaben eingearbeitet.

Schritt 7: Workshop 2 – Fixierung der Vorgangsweise: Gemeinsame Abstimmung von Akzeptanzanalyse und technischer Evaluierung und Auswahl der einzelnen Evaluierungsprojekte.

Schritt 8: Erstellen der Projekthomepage Teil 1: Es wurde analog zum Projekt „Wohnraumlüftung“ eine Projekthomepage mit den wichtigsten Informationen rund um das Thema „Klassenzimmerlüftung“ erstellt. www.komfortlüftung.at (Eigenfinanzierung).

Schritt 9: Durchführen der Akzeptanzanalyse bzw. der technischen Evaluierung und der VOC-Messung: Schwerpunkt der eigentlichen Evaluierung war das Winterhalbjahr 2006/2007.

Schritt 10: Auswertung der Akzeptanzanalyse und der technischen Evaluierung: Auswertung der evaluierten Objekte bzw. Fragebögen durch das IFZ, der technischen Messungen durch die FHS-Kufstein, AEE-Intec, arsenal research und Energie Tirol.

Schritt 11: Auswertung der VOC-Messungen: Die VOC-Messungen wurden vom Mess- und Beratungsservice des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie (IBO)/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems ausgewertet.

Schritt 12: Workshop 3 – Endbericht und Planungsleitfaden: Abstimmung des Endberichtes bzw. Planungsleitfadens.

Schritt 13: Verfassen Endbericht und Planungsleitfaden: Es wurden konzeptionelle Aspekte, besonders gute Lösungen, aber auch Fehler und Mängel der einzelnen Anlagen aufgezeigt. Der Planungsleitfaden umfasst die Bereiche:

- Checkliste für die Basisdatenerhebung
- Empfehlungen und Entscheidungshilfen
- 61 Qualitätskriterien

Schritt 14: Erstellen der Projekthomepage Teil 2: Internetgerechte Aufbereitung und Bereitstellung der wichtigsten Erkenntnisse bzw. des gesamten Endberichtes (Eigenfinanzierung).

Schritt 15: Verbreitung der Ergebnisse: Das Thema „Klassenzimmerlüftung“ bzw. die Ergebnisse der Evaluierung sollen insbesondere über die eigene Projekthomepage verbreitet werden. Durch die Teilnahme an Tagungen, Artikel in Fachzeitschriften, Information der Schulbehörden, Schullehrer (Bund [BIG], Länder, Gemeinden), ÖISS, Elternvereine, etc. soll das Projekt bzw. die Homepage bekannt gemacht werden (Eigenfinanzierung).

Schritt 16: Betreuung der Projekthomepage: Weitere Betreuung und Aktualisierung der Projekthomepage durch die FHS Kufstein bzw. TB Andreas Greml www.komfortlüftung.at (Eigenfinanzierung).

1.5 Einschränkungen und Ergänzungen

1.5.1 Evaluierung war keine Langzeituntersuchung

Diese Evaluierung enthält nur Momentaufnahmen. Die Untersuchungen bzw. Messungen wurden normalerweise an einem Tag durchgeführt, d.h. die Messergebnisse sind dementsprechend eingeschränkt zu bewerten. Umfassende (Langzeit-) Untersuchungen im KIGA Ziersdorf und in der HS Schwanenstadt sind im HdZ-Projekt „Energetische und baubiologische Begleituntersuchungen der Bauprojekte“ enthalten.

Eine sehr detaillierte Langzeituntersuchung der Passivhausschule Frankfurt Riedberg über einen Zeitraum von 30 Monaten wurde vom Passivhausinstitut, Dr. Feist durchgeführt: „Passivhausschule Frankfurt Riedberg – Messtechnische Untersuchung und Analyse“

Diese Untersuchung steht unter www.passiv.de/04_pub/Literatur/Riedberg/PH-Schule_Monitoring.pdf kostenlos zum Download zur Verfügung.

1.5.2 Keine Veröffentlichung der Ergebnisse von Einzeluntersuchungen

Das primäre Ziel der Evaluierung war die Verbesserung der zukünftigen Anlagen und nicht die Kritik an bestehenden Anlagen, die uns dankenswerterweise zur Evaluierung zur Verfügung gestellt wurden. Daher sind in diesem Endbericht die einzelnen Messwerte nicht den einzelnen Anlagen direkt zuordenbar. Die kurze Dokumentation, die über die einzelnen Anlagen gemacht wurde, wird daher nur ohne die Messergebnisse bzw. die individuelle Akzeptanzanalyse veröffentlicht. Die Messergebnisse, die individuelle Akzeptanzanalyse und Kritikpunkte sind nur an die Gebäudeverantwortlichen gegangen, damit diese die gegebenenfalls möglichen Verbesserungen veranlassen können bzw. eine Bestätigung über die gute Qualität ihrer Anlage in Händen haben.

1.5.3 Einbeziehung nicht nur der 16 Anlagen

Insgesamt sind im folgenden Bericht nicht nur die Erfahrungen der 16 angeführten Schulen enthalten. Es wurden auch die Erfahrungen aus den zahlreichen Telefongesprächen bzw. zusätzlichen Anlagenbesichtigungen verarbeitet. Die Messwerte bzw. statistischen Auswertungen beziehen sich jedoch immer nur auf die 16 Anlagen.

2 Österreichlandkarte „Klassenzimmerlüftung“

Für die Erhebungen der Schulen mit Klassenzimmerlüftungen wurden die Energieinstitute der Bundesländer, bekannte Firmen mit Lüftungsgeräten für Klassenzimmerlüftungen, das Normenkomitee der ÖNORM H 6039 sowie verschiedene Schulbehörden und das Internet herangezogen. Große Hörsäle von Fachhochschulen und Universitäten sind durchwegs mit Lüftungsanlagen ausgestattet. Sie unterscheiden sich aber in ihrer Struktur oft sehr wesentlich von Klassenzimmern. Auf eine Auflistung in unten stehender Tabelle wurde daher verzichtet.

Anschließend wurden alle erhobenen Schulen mittels eines „Erhebungsbogens“, der per Mail an die jeweiligen Direktionen erging (siehe Anhang A), gebeten, nähere Informationen zur Klassenzimmerlüftung zur Verfügung zu stellen bzw. bekannt zu geben, ob sie an einer vertieften Evaluierung ihrer Klassenzimmerlüftung interessiert sind.

Übersicht Schulen mit mechanischen Lüftungsanlagen

Folgende 59 Schulen und Kindergärten mit mechanischen Lüftungen konnten bis Dezember 2007 erhoben werden:

Vorarlberg: (15)

- Kindergarten Dornbirn-Kehlegg
- Kindergarten Langenegg
- Volksschule Ludesch
- Kindergarten Lustenau - Rosenlächerstrasse
- Kindergarten Minderach - Schwarzach
- Kindergarten Wolfurt
- Volksschule Doren
- Volksschule Blons
- Volks- und Hauptschule Schwarzach
- Hauptschule Klaus - Weiler - Fraxern
- Hauptschule Mäder
- Hauptschule Koblach
- Hauptschule Zwischenwasser
- BORG Schoren - Dornbirn
- Privatschule Kloster Mehrerau

Tirol: (8)

- Volksschule Ainet
- Volksschule Achenkirch
- Volksschule Söll
- Volks- u. HS Virgen i.O.
- Hauptschule Brixlegg
- Hauptschule Paznaun
- LLA St. Johann Weitaubach
- WRG der Ursulinen Innsbruck

Salzburg: (11)

- Kindergarten Salzburg - Alterbach
- Kindergarten Salzburg - Moos
- Kinderhort Salzburg - Taxham
- Volksschule Oberalm
- Hauptschule Bischofshofen
- Hauptschule Bruck
- Hauptschule Faistenau
- Hauptschule Leogang
- Hauptschule Maxglan/Salzburg
- Hauptschule Straßwalchen
- Tourismusschule Bramberg

Oberösterreich: (11)

- Kindergarten Bad Ischl/Pfandl
- Kindergarten Danzermühle
- Kindergarten Schneegattern
- Kindergarten Linz - Solar City
- Kindergarten Wels
- Volksschule Schlüßberg
- Volksschule Steyrermühl
- Hauptschule Mauthausen
- Hauptschule Oberneukirchen
- Hauptschule Schwanenstadt
- Musikschule Wolfers

Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich

Niederösterreich: (8)

- Kindergarten Ertl
- Kindergarten Höflein/Donau
- Kindergarten und Volksschule Stephanshart
- Kindergarten Ziersdorf
- Sonderschule Schwechat
- HLW/HAK Horn
- AHS Purkersdorf
- HTL Mistelbach

Wien: (1)

- AHS Gerasdorferstrasse

Burgenland: (1)

- Volksschule Riedlingsdorf

Kärnten: (2)

- Kindergarten Klagenfurt - Rauscherpark
- Volksschule Hermagor

Steiermark: (2)

- Privatkindergarten Graz - Kocher
- Volksschule Tillmitsch

Übersichtskarte Klassenzimmerlüftung - Österreich

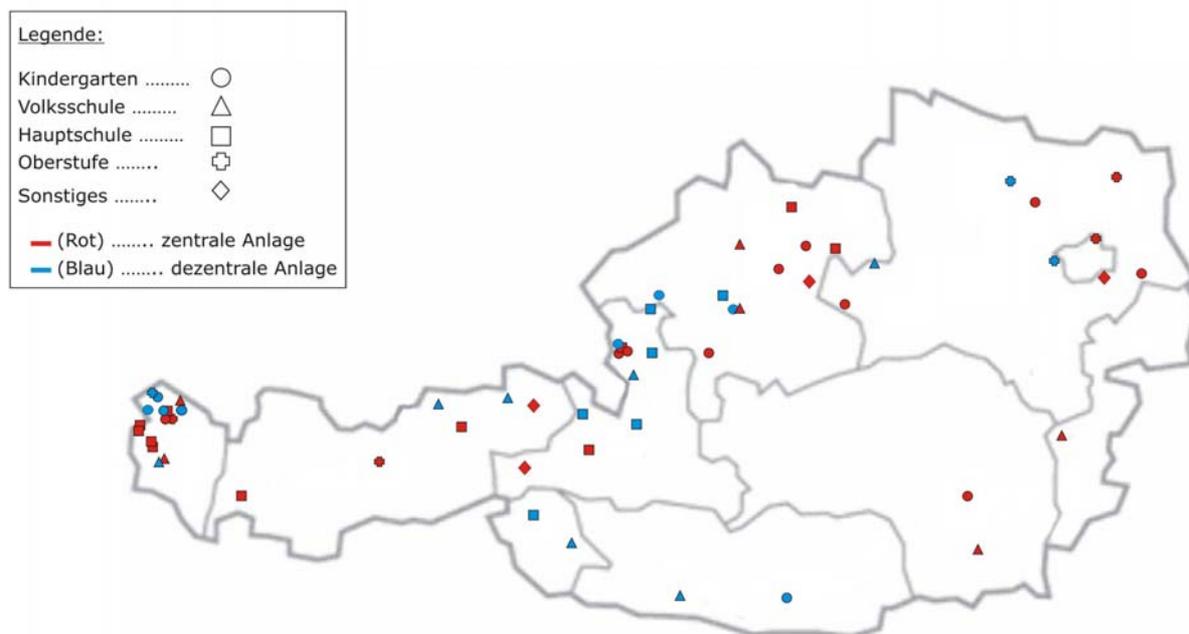


Abbildung 2.1: Übersichtskarte aller Schulen und Kindergärten mit Klassenzimmerlüftungen

3 Ausgewählte Schulen für die Evaluierung

Aus dem Pool von Schulen mit mechanischen Klassenzimmerlüftungen wurde pro Bundesland nach Möglichkeit zumindest eine Schule für die Evaluierung herangezogen, wobei bei der Auswahl die Abdeckung der gesamten Breite der technischen Lösungen (zentral, dezentral, semidezentral – Art der Wärmerückgewinnung – Art der Regelung, ...) und die verstärkte Einbeziehung des Sanierungsbereiches im Vordergrund standen. Die beiden im Rahmen des „Haus der Zukunft“ geförderten Demonstrationsprojekte (Kindergarten Ziersdorf und die Hauptschule und Polytechnikum Schwanenstadt) waren Fixstarter. Insgesamt wurden 16 Anlagen untersucht. Bis auf das Burgenland und Wien sind alle Bundesländer in der Evaluierung vertreten. Eine Schule möchte namentlich nicht genannt werden und ist mit HS Anonym in der folgenden Liste geführt.

Tabelle 3.1: Ausgewählte Schulen für die Evaluierung

Nr.	Schule	Bundesland	Baujahr	Sanierung/ Neubau	Zentral/ Dezentral
1	KIGA Graz	Stmk	2006	N	Z
2	KIGA Klagenfurt	K	2005	S	D
3	KIGA Lustenau	V	1999	N	D
4	KIGA Ziersdorf	NÖ	2004	N	Z
5	VS Ainet	T	2005	S	D
6	VS Ludesch	V	2005	S	D
7	VS Stephanshart	NÖ	2005	N	D
8	HS Mäder	V	1998	N	Z
9	HS Mauthausen	OÖ	2006	S	Z
10	HS Oberneukirchen	OÖ	2006	S	Z
11	HS Patznaun	T	2004	N	Z
12	HS Anonym	AUT	2006	S	Z
13	HS PL Schwanenstadt	OÖ	2006	S	D
14	LLA St. Johann - Weitau	T	2004	N	Z
15	BRG Purkersdorf	NÖ	2002	N	D
16	WISB Bramberg	S	2006	S	Z

KIGA = Kindergarten

VS = Volksschule

HS = Hauptschule

LLA = Landeslandwirtschaftsschule

PL = Polytechnischer Lehrgang

BG/BRG = Bundesgymnasium/Bundesrealgymnasium

WISB = Wirtschaftsschule

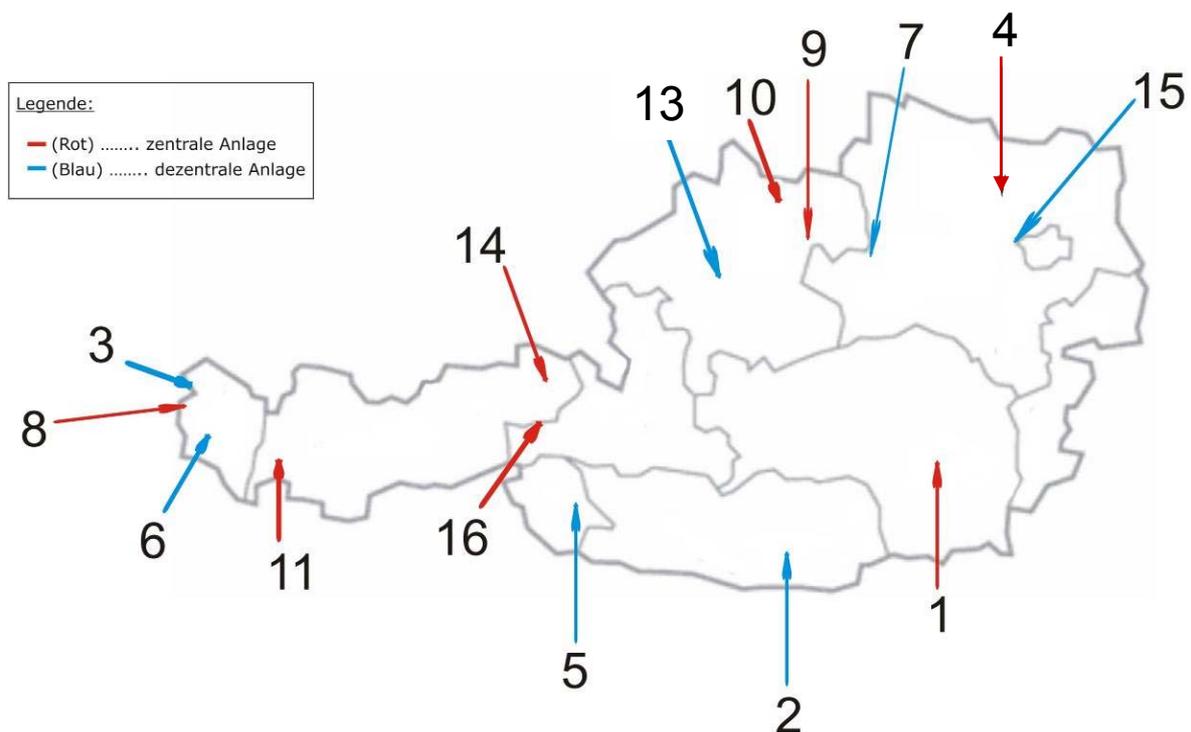


Abbildung 3.1: Übersichtskarte der 16 untersuchten Anlagen in Österreich

Von den untersuchten Anlagen sind 9 Neubauten und 7 Sanierungen (teils mit Zubauten). Je 9 der Objekte verfügen über ein zentrales und 7 über ein dezentrales Lüftungskonzept. Die Hauptschule Mäder verfügt als einzige der Anlagen eine aktive Befeuchtung. Über eine aktive Kühlung verfügt keines der Evaluierungsprojekte. Die dem Projektteam einzige bekannte Schule mit Kühlfunktion (Adiabate Kühlung) ist die HS Brixlegg in Tirol. Sie wurde jedoch erst im Herbst 2007 fertig gestellt und konnte daher nicht mehr in die Evaluierung aufgenommen werden.

4 Bestehende Normen, Studien und Umsetzungshilfen

Die Übersicht über Publikationen zum Thema Luftqualität in Klassenzimmern, bzw. Klassenzimmerlüftungen enthält vor allem Studien aus Österreich, Deutschland und der Schweiz. Die meisten größer angelegten Studien beziehen sich auf die Luftqualität in Schulen ohne Klassenzimmerlüftung. Bei den Schulen mit Klassenzimmerlüftungen gab es bisher nur Einzeluntersuchungen.

Die Studien und Informationsmaterialien wurden nach folgender Systematik zusammengestellt und stehen auf der Homepage www.komfortlüftung.at im Bereich Klassenzimmerlüftung zum Download zur Verfügung bzw. sind entsprechend verlinkt.

1. Besonders relevante Normen
2. Luftqualitätsuntersuchungen an Schulen ohne mechanische Lüftung
3. Vergleich von Schulen mit Fensterlüftung und mechanischen Lüftungsanlagen
4. Luftmengenuntersuchungen bei Schulen mit mechanischen Lüftungsanlagen
5. Studien zu Wirkungen von erhöhten CO₂-Werten auf die Leistungsfähigkeit
6. Studien und Berichte über einzelne Schulen mit Lüftungsanlagen
7. Bestehende Ausschreibungs- bzw. Planungshilfen

4.1 Wichtige Normen zu Klassenzimmerlüftungen

Insgesamt sind für eine Umsetzung von Klassenzimmerlüftungen zahlreiche Normen relevant. Die wichtigsten Normen, innerhalb derer auch wieder auf die weiterführenden Normen verwiesen wird, sind:

- ÖNORM EN 13779:2008 „Lüftung von Nichtwohngebäuden“
- ÖNORM EN ISO 7730:2006 "Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und PPD, Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit“
- ÖNORM H 6000-3:1989 „Lüftungstechnische Anlagen; Grundregeln; hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen.“
- Vorschlag ÖNORM H 6039 (voraussichtlich 2008) „Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Gruppen-, Unterrichts-, oder Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung“

Die ÖNORM H 6039 wird im Laufe des Jahres 2008 veröffentlicht. Die Ergebnisse der Evaluierung sind auch in den Vorschlag zur ÖNORM H 6039 eingeflossen, da Ing. Wolfgang Leitzinger sowohl an der Normentwicklung, als auch bei der Evaluierung beteiligt war.

Die Berechnung des Energiebedarfes einer Lüftungsanlage kann mit der ÖNORM H 5057 (Energieausweis) vorgenommen werden.

4.2 Luftqualitätsuntersuchungen an Schulen ohne mechanische Lüftungen

Zum Thema Luftqualität in Schulen ohne mechanische Lüftungsanlage gibt es sowohl in Österreich als auch in Deutschland umfangreiche Untersuchungen.

- A: OÖ Untersuchung, in je zwei Klassenräumen von zehn Oberösterreichischen Schulen (Brandl et al. 2001, 20 Klassen)
- A: OÖ: Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder: Untersuchungen in Oberösterreichischen Kinderbetreuungseinrichtungen (Land Oberösterreich, 2003a)
- A: OÖ: Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder und Jugend: Messprogramm zur Untersuchung der Innenraumluftqualität, akustischen Verhältnisse und bauphysikalischen Qualitätsfaktoren an Oberösterreichischen Pflichtschulen, Berufsschulen und landwirtschaftlichen Fachschulen (Land Oberösterreich, 2003b)
- A: BGL: Energetische und raumluftechnische Optimierung von Schulen (Bischof M, 2005)
- A: BGL Eine Langzeituntersuchung des CO₂-Gehaltes in einer Maturaklasse an der Höheren Technischen Bundeslehranstalt Pinkafeld (Krammer und Lindner, 2006)
- D: Niedersächsisches Schulmessprogramm (Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, 2002, 7 Schulen)
- D: Berlin: Dicke Luft in Klassenzimmern (Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin, 2004, 40 Schulen)
- D: Bayern: Frische Luft an bayrischen Schulen (Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2006) (Winter: 46 Schulen – 92 Untersuchungen, Sommer: 38 Schulen – 76 Untersuchungen)
- D: Frankfurt: Innenraumklima in Schulen (Stadtgesundheitsamt Frankfurt, 2006, 2 Schulen)
- D: Erfurt: Erhebung zur raumlufthygienischen Situation in Erfurter Schulen (Bischof et al. 2007, 10 Schulen)

Die ausführlichsten und größten Studien zum Thema Raumlufqualität an Schulen stellen die Untersuchungen in Oberösterreich aus dem Jahre 2003, in Berlin im Jahre 2004 und Bayern im Jahre 2006 dar. Alle Studien kommen grundsätzlich zum gleichen Endergebnis, dass nur mit Fensterlüftung alleine keine lerngerechte Luftqualität gewährleistet werden kann. Sie bestätigen, dass sowohl CO₂-Werte (bis weit über 5.000 ppm) als auch Schadstoffparameter wie z.B. Feinstaub (Bayern, Spitzenwerte bis 313 µg/m³, Median 91,5 µg/m³), VOC (ÖO, Spitzenwerte bis 3.400 µg/m³, Median von 475 µg/m³) etc. deutlich über den gewünschten Werten liegen.

Als Gesamtresümee der Studien kann festgestellt werden, dass mit diesen hinreichend der Nachweis erbracht wurde, dass mit Fensterlüftung – auch bei motivierten Nutzern – keine ausreichende Luftqualität in Schulen erreicht wird.

4.3 Vergleich von Schulen mit Fensterlüftung und mechanischen Lüftungsanlagen

In der Schweiz wurde ein Vergleich der Luftqualität von jeweils drei neuen Schulgebäuden, mit und ohne mechanische Lüftungsanlage vorgenommen:

- CH: Vergleichende Luftqualitätsmessungen in Schulhäusern im Kanton Aargau (Bau- und Umweltchemie – Beratungen und Messungen, 2005)

Als Endergebnis der Studie wurde folgendes festgehalten:

„Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass kontrollierte Raumlüftungsanlagen für Schulneubauten mit dichter Gebäudehülle und stark belegten Räumen eigentlich notwendig sind, um eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten.“

„Die Messungen zeigen weiter, dass die Lüftungen in hygienisch gutem Zustand sind, und die in den Klassen zugeführte Luft in Bezug auf Keime und Feinstaub einen besseren Zustand als die Außenluft aufweist. Bei Schulhäusern mit Fensterlüftung entsprachen diese Parameter der Außenluft.“

4.4 Luftmengenuntersuchungen bei Schulen mit mechanischen Lüftungsanlagen

In der Schweiz wurden auch die Luftmengen, welche für Planungen in der SIA 382/1 empfohlen wurden, kritisch hinterfragt und untersucht.

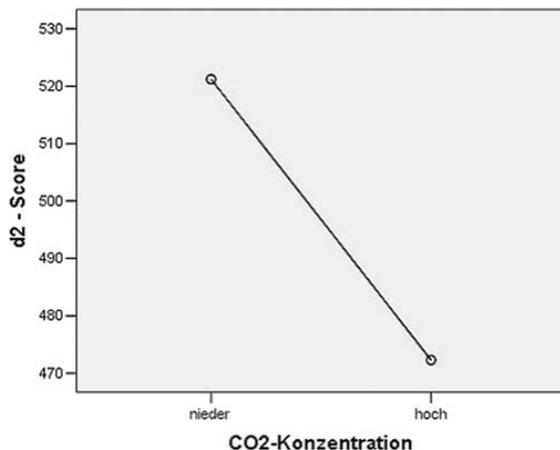
- Wie viel Luft braucht das Hirn (Gugerli, Huber, Weber 2003)

Hier wurde aufgezeigt, dass die bis dahin vorgesehene Luftmenge der SIA 382/1 von ca. 15 m³/h deutlich zu gering war. Es sollten lt. der Studie zumindest 25–30 m³/Person und Stunde für zufrieden stellende Luftqualität sein. Von einer Kombination von Fensterlüftung und mechanischer Lüftung mit reduzierter Luftmenge (z.B. 15 m³/h + Fensterlüftung) wird abgeraten. Weiters wird empfohlen möglichst Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung einzusetzen. Die Luftmenge wurde mittlerweile in der SIA382/1 (Ausgabe 2007) auch entsprechend auf 25 m³/h (bei unterstützender Fensterlüftung) bzw. 30 m³/h (ohne unterstützende Fensterlüftung) geändert.

4.5 Studien zur Wirkung erhöhter CO₂-Werte auf die Leistungsfähigkeit

- Myhrvold et al. (1996): Zeigten erstmals an 550 Schülern aus 22 Klassen mit einer Kohlendioxid-Belastung von 601 bis 3827 ppm eine altersjustierte Abnahme der Reaktionszeit und der Aufmerksamkeit bei der Durchführung einfacher Übungen. Die raumklimatischen Bedingungen oder weitere untersuchte chemische Verbindungen wurden nicht mitgeteilt.
- Wargocki et al. (2000): Setzten Probanden in Prüfräumen unterschiedlichen personenbezogenen Außenluftvolumenströmen aus und prüften die Leistungsfähigkeit mittels standardisierter Tests. Es wurden die Aufgaben „Rechnen“, „Texte korrigieren“ und „Texte tippen“ untersucht. Es ergab sich bei allen Aufgaben ein positiver Zusammenhang zwischen den personenbezogenen Außenluftvolumenströmen (damit auch indirekt zu den resultierenden Konzentrationen an CO₂) und der Leistungsfähigkeit, der in Bezug auf die Aufgabe „Texte tippen“ signifikant war. Die gemessenen Steigerungen der Leistungsfähigkeit lagen bei einer Erhöhung von 18 m³ auf 36 m³ pro Person und Stunde bei etwa 2–4 %. Da die tatsächliche Luftmenge in Klassenzimmern ohne mechanische Belüftung meist deutlich unter 18 m³/h liegt, kann davon ausgegangen werden, dass die Leistungssteigerung mit mechanischer Belüftung deutlich über 4 % gegenüber einer Klasse mit Fensterlüftung beträgt.
- Kajtár et al. (2003): In einer Kammerstudie an 4 männlichen und 6 weiblichen Probanden im Alter von 20–23 Jahren wurden Wohlbefinden und Aufmerksamkeit bei CO₂-Konzentrationen von 0,6, 1,5, 3 bzw. 4 Vol.‰ (600, 1.500, 3.000 bzw. 4.000 ppm) untersucht. Der Aufmerksamkeitstest bestand in einem 70-minütigen Fehlersuchen in einem Text. Vor, während und nach dem Test wurden Raumtemperatur und Raumfeuchte erfasst. Im Vergleich mit einer Exposition gegenüber 0,6 Vol.‰ CO₂ war die Anzahl der gefundenen Fehler bei einer Exposition von 3 Vol.‰ CO₂ signifikant verringert.
- Tham et.al. (2003): Zeigte den Einfluss guter Luftqualität auf die Leistung am Arbeitsplatz auf. Es zeigte sich, dass sich die Arbeitsleistung (Call Center) bei guter Raumluft um bis zu 9 % verbesserte.
- Shaughnessy et al. (2005): Die Autoren fanden in einer Untersuchung in 50 Klassenräumen signifikante Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit von Schülern und der Konzentration an CO₂. Höhere CO₂-Konzentrationen korrelierten mit signifikant schlechteren Ergebnissen bei Mathematik-Tests. Zusammenhänge mit Lese-Tests, die in die gleiche Richtung wiesen, waren ebenfalls gegeben, jedoch statistisch nicht signifikant.

- Wargocki & Wyon (2006): Im Rahmen einer Interventionsstudie haben die Autoren den Einfluss unterschiedlicher CO₂-Konzentrationen auf die Leistungsfähigkeit von Schülern an 6 bauartgleichen dänischen Grundschulklassen im Sommer und im Winter untersucht. Die Aufgaben stammten aus 8 unterschiedlichen Bereichen des Lesens und Rechnens, die im regulären Unterricht integriert waren. Die Klassen waren mechanisch belüftet, zusätzlich konnten auch die Fenster geöffnet werden. Während der gesamten Unterrichtszeit wurde kontinuierlich die CO₂-Konzentration in den Klassenräumen erfasst; die Raumtemperatur wurde konstant auf 20°C gehalten. Durch eine Steigerung der Lüftungsraten von 3 auf 9 Liter pro Sekunde (10,8 m³/h auf 32,4 m³/h) und Person wurde die CO₂-Konzentration in 3 Untersuchungsreihen von 1.280 auf 920, von 1.130 auf 900 und von 1.000 auf 780 ppm gesenkt. Im Vergleich mit der jeweils höheren CO₂-Konzentration war bei der niedrigeren CO₂-Konzentration die Geschwindigkeit bei der Durchführung der Aufgaben signifikant erhöht und die Anzahl der Fehler signifikant erniedrigt. Die Autoren merken an, dass die Effekte bei den untersuchten Kindern größer waren als bei den bisherigen Studien an Erwachsenen.
- Werner Ribic (2007): In Graz wurde im Unterschied zu anderen Studien die generelle Konzentrationsleistung der Schüler getestet, da diese auf sämtliche Lernsituationen, fächerunabhängig, einen massiven Einfluss hat. Als geeignetes Messinstrument wurde der standardisierte Aufmerksamkeits-Belastungstest d2 verwendet. Darüber hinaus wurde auf die problematischen Einflussgrößen Motivation und Lerneffekt, welche sich bei wiederholten Messungen störend auswirken können, mit zwei speziellen Versuchsdesigns eingegangen; zwei verschiedene Studien wurden durchgeführt. Die beiden Studien wurden an insgesamt 152 Schülern durchgeführt. Eine Kovarianzanalyse mit Messwiederholung ergab in beiden Studien einen hoch signifikanten Unterschied der Konzentrationsleistung der Schüler bei hohem und niedrigem CO₂-Gehalt. Diese Ergebnisse untermauern die Wichtigkeit einer ausreichenden Belüftung von Unterrichtsräumen (Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007).



Hohe CO₂-Werte bei den Studien: 3.300 bzw. 4.300 ppm

Niedrige CO₂-Werte bei den Studien: 870 bzw. 880 ppm

Abbildung 4.1: Vergleich im d2 Test: bei niedriger CO₂-Konzentration zeigen sich signifikant bessere Werte im d2-Test als unter hoher CO₂-Konzentration. (Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007)

- Tiesler et al. (2008): Die Untersuchung erfolgte in drei Schulen, zwei Grundschulen in Bremen mit je 4 Klassen und einer Sek.I Schule in Stuhr-Moordeich mit acht Klassen, insgesamt während 225 Unterrichtsstunden. Dabei wurde der Unterricht beim selben Lehrer mit derselben Klasse an einem gleichen Wochentag zur gleichen Uhrzeit, in einer Woche ohne (Kontrolle: übliches Lüftungsverhalten) und in einer Woche mit Intervention (d.h. die Lehrer wurde gebeten, nach jeweils 20 Min. Unterricht zu lüften), durchgeführt (in den GS 2 Tage je Klasse, in der Sek.I Schule 1 Tag je Klasse). Ein Kommunikations- und ein Aktionsprotokoll für den Unterricht wurden erstellt und u.a. der Geräuschpegel und die CO₂-Konzentration im Sekundentakt erfasst, zusätzlich bei 10 Schülern und dem Lehrer die Herzfrequenz. Aufmerksamkeitstests vor und nach dem Unterricht bei den Schülern wurden durchgeführt und Heiserkeitsdiagramme bei den Lehrern aufgezeichnet. Zu den vorläufigen Ergebnissen zählen: Im Interventionsansatz waren der Arbeitsgeräuschpegel, die Pulsfrequenz, "dysfunktionale Störungen" und „Disziplinierungen“ in der Klasse gegenüber der Kontrolle vermindert und der Dialog Schüler-Lehrer erhöht. Die Beanspruchung, gemessen mittels Herzfrequenz, war erniedrigt. Die Ergebnisse werden voraussichtlich im April 2008 veröffentlicht.
- Rechnagel et. al. (2007/2008): Hier sind für die Produktivitätsverluste im Bürobereich zwischen mäßiger Luftqualität und sehr guter Luftqualität ca. 5 % angeführt.

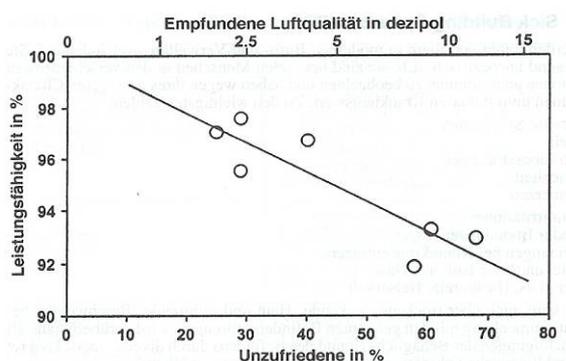


Abbildung 4.2: Die Leistungsfähigkeit (in Prozent) bei Büroarbeit in Abhängigkeit der Unzufriedenheit mit der Raumluftqualität.

4.6 Studien über einzelne Schulen mit Lüftungsanlagen

Für einzelne Schulen mit Lüftungsanlagen gibt es vertiefende Untersuchungen bzw. Dokumentationen. Auch diese Studien sind größtenteils über die Projekthomepage zugänglich.

- A: Hauptschule Bruck (Klaushofer, Energie AG, 2001)
- A: Hauptschule Faistenau (Klaushofer, Energie AG, 2004)
- A: Schwanenstadt, HdZ-Projektbericht 22/2004 (Lang, Plöderl, 2004)
- A:VS Virgen: Vergleich von zwei Klassen mit Einzelraum-Lüftungsgeräten (Greml, Kapferer, 2004)
- Volksschule Hermagor (Heiduk, FH-Kärnten, 2005 und 2008)
- A: Raumlufthygienische Untersuchungen Bundesrealgymnasium Gerasdorf 1021 Wien (Twrzik & Tappler 2005)
- D: Waldorfschule Bremen, Erste Passivhaus-zertifizierte Schule (BINE, Projektdatenbank, 2001)
- D: Homepage der Justus von Liebig Schule (www.energiesparschule.de)
- D: Steisslingen, Erste Sanierung nach Minergiestandard in Deutschland (Sidler, Faktor 3/2004)
- D: Wismar: Energetische Sanierung der KITA Plappersnut – Betriebserfahrungen (Gebäude, Energie, Licht, 2005)
- D: Gebäude Sanieren – Schule aus den 50er Jahren. Käthe Kollowitz Schule in Aachen (BINE Projektinfo, 03/2005)
- D: „Passivhausschule Frankfurt Riedberg – Messtechnische Untersuchung und Analyse“ (Passivhausinstitut Dr. Feist, 2006)
- D: Biberach – Gebhard Müller Schule (BINE Projektinfo, 12/2006)
- CH: Ober- und Realschule Triesen (Faktor-Schulbauten, Strobl, 2004)

Die Studien zeigen auf, dass Schulen mit Lüftungen zum größten Teil sehr zufriedenstellende Ergebnisse bzw. Verbesserungen der Luftsituation bringen. Sie zeigen aber auch, dass noch einige Wissenslücken hinsichtlich Auslegung und Umsetzung von Lüftungsanlagen bestehen, bzw. bei einigen Anlagen erst mit Nachbesserungen die Ziele erreicht wurden.

4.7 Ausschreibungs- bzw. Planungshilfen

Bisherige konkrete Hilfen für die Umsetzung von Klassenzimmerlüftungen über die Normen hinaus sind Mangelware. Unterstützung für die Systemauswahl, bzw. für die Ausschreibung bieten:

- Bewertung von Lüftungskonzepten für Schulgebäude (Muss 2004)
- Gebäude Sanieren – Schulen (BINE Themeninfo I/06)
- Passivhaus Schulen, Protokollband Nr. 33: Passivhausinstitut Dr. Wolfgang Feist (2006)
- Pflichtenheft für Lüftungsanlagen in Schulen, Land Oberösterreich (2006)

4.8 Laufende Forschungsprojekte

Forscher der TU Berlin entwickeln derzeit ein hybrides System, welches die Fensterlüftung mit einer mechanischen Lüftungsanlage kombiniert und selbstständig über die optimale Lüftungsstrategie entscheidet. "Über dieses System sollen Fenster und die mechanische Lüftung Daten austauschen, also quasi miteinander kommunizieren", erklärt Olaf Zeidler, Experte für Heiz- und Raumluftechnik am Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin. "Im Ergebnis dieses Datenaustauschs soll das System dann entscheiden, ob es zum gegenwärtigen Zeitpunkt angemessener ist, den Klassenraum über gekippte Fenster zu lüften oder über das mechanische Lüftungssystem mit frischer Luft zu versorgen." Im Sommer 2008 wollen die Forscher einen Klassenraum an einer Berliner Berufsschule mit diesem hybriden Lüftungssystem ausstatten. Ein Jahr lang werden sie sowohl die Daten in dem Versuchsraum als auch die Daten aus einem Vergleichsklassenraum ohne hybride Lüftungstechnik protokollieren und auswerten, um zu Aussagen über die Raumlufzustände zu gelangen. "Ziel ist es, herauszufinden, inwiefern mit einer solchen hybriden Lüftungstechnik die thermische Behaglichkeit und Luftqualität in einem Klassenraum entscheidend verbessert werden kann", so Olaf Zeidler. Das Projekt "Thermische Behaglichkeit und gute Luftqualität in Schulgebäuden durch hybride Lüftungstechnik" wird durch das Bundeswirtschaftsministerium gefördert. Federführend sind Forscher des Hermann-Rietschel-Instituts der TU Berlin (vgl. BINE Informationsdienst, www.bine.info).

5 Raumklima und Behaglichkeit¹

Das Raumklima beeinflusst die Behaglichkeit, und damit auch das Lern- und Lehrklima in den Unterrichtsräumen von Schulen und Kindergärten. Das Wohlbefinden und eine gute Luftqualität sind für einen guten Lernerfolg wichtig. Es hängt von verschiedenen Parametern ab, die auch von der Lüftung beeinflusst werden.

In der ÖNORM H 6000-3:1989 sind die Faktoren, von denen das Wohlbefinden der Menschen in einem Raum abhängt, eingeteilt in:

- Individuelle Einflussgrößen
- Bauphysikalische Einflussgrößen
- Raumluftechnische Einflussgrößen

Tabelle 5.1: Einflussgrößen auf die Behaglichkeit nach ÖNORM H 6000-3:1989

Individuelle Einflussgrößen	Bauphysikalische Einflussgrößen	Raumluftechnische Einflussgrößen
Körperliche Tätigkeit	Wärmestrahlung	Lufttemperatur
Bekleidung	Schall	Luftbewegung
Physische Verfassung	Beleuchtung	Luftfeuchtigkeit
Psychische Verfassung	Farbe	Luftzusammensetzung
		Geräusch

Aufgrund des unterschiedlichen Behaglichkeitsempfindens der Menschen ist es kaum möglich, ein Raumklima in einer Klasse zu schaffen, das alle Personen gleichzeitig als gut empfinden. In der ÖNORM EN 7730:2006 ist daher der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) für die thermische Behaglichkeit definiert. Als gerade noch akzeptabel für bestehende Klassenzimmer kann die Kategorie C (PPD unter 15 %) bzw. ca. 85 Prozent zufriedener Nutzer angesehen werden. Zielbereich für Neubau und Sanierungen sollte zumindest die Kategorie B (PPD unter 10 %) oder bei sehr hohen Ansprüchen die Kategorie A (PPD unter 6 %) sein.

In der ÖNORM EN 15251:2007 sind die Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden im Rahmen der Europäischen Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD) enthalten. Darin sind vier Gebäudekategorien beschrieben. Die Kategorie II beschreibt ein normales Maß an Erwartungen – empfohlen für neue und renovierte Gebäude. Im Bereich thermische Behaglichkeit entspricht die Kategorie II einem PPD von 10 %. Dies entspricht der Kategorie B nach ÖNORM EN 7730:2006. Im Bereich Raumlufqualität entspricht die Kategorie II einem PPD von 20 % und die Kategorie I einem PPD von 15 %.

¹ Vgl. Gössler A.: „Technische Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich“, Diplomarbeit, Pinkafeld (2007)

Die dominanten Einflussgrößen auf die Behaglichkeit, die durch eine mechanische Lüftungsanlage beeinflusst werden, sind:

1. Thermische Behaglichkeit
2. Raumlufqualität (Luftzusammensetzung – Luftbelastung)
3. Akustische Behaglichkeit (Geräusch)

Wobei sich durch eine Klassenzimmerlüftung die thermische Behaglichkeit bzw. die Raumlufqualität bei richtiger Planung, Bau und Betrieb der Anlage, gegenüber einer Fensterlüftung, deutlich verbessern. Die Geräuschseite bei geschlossenen Fenstern verschlechtert sich normalerweise etwas, da die Lüftungsanlage normalerweise über dem Grundgeräuschpegel (ohne Schüler) liegt. Gegenüber offenen Fenstern verbessert sich die Schallsituation insbesondere im städtischen Bereich deutlich.

Zur Gesamtbehaglichkeit in einem Klassenzimmer tragen dann weitere Aspekte wie Lichtverhältnisse, Formen, Farben, psychologische Faktoren, etc. bei. Im Zusammenhang mit psychologischen Faktoren ist z.B. zumindest ein offenbares Fenster in jedem Klassenzimmer besonders relevant.

5.1 Thermische Behaglichkeit²

Obwohl der Mensch sich wechselnden thermischen Luftzuständen anpassen (akklimatisieren) kann, gibt es doch einen deutlichen Bereich, den Behaglichkeitsbereich, innerhalb dessen er sich am wohlsten fühlt. Um thermische Behaglichkeit bei einem großen Personenkreis zu erreichen, müssen mehrere Einflussgrößen aufeinander abgestimmt sein.

Die wesentlichen Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit sind nach DIN 1946:1998

- **Mensch:** Bekleidung, Aktivierungsgrad, Aufenthaltsdauer
- **Raum:** Temperatur und Gestaltung der Umschließungsflächen, Beleuchtung
- **Luft:** Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte

Die entscheidenden Einflussgrößen sind:

1. Wärmeproduktion (abhängig vom Aktivitätsgrad)
2. Bekleidung
3. Raumlufqualität
4. Temperatur der Umschließungsflächen
5. Luftfeuchte
6. Luftbewegung

² Vgl. Gössler A.: „Technische Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich“, Diplomarbeit, Pinkafeld (2007)

5.1.1 Wärmeproduktion

Die Wärmeproduktion (Energieumsatz) des Körpers ist sehr stark von der körperlichen Tätigkeit (Aktivitätsgrad) abhängig. Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Wärmeproduktion pro m² Körperoberfläche nach ÖNORM EN ISO 7730:2006.

Tabelle 5.2: Wärmeproduktion in Abhängigkeit von der Tätigkeit nach ÖNORM EN ISO 7730:2006

Aktivität	Energieumsatz* [met]	Energieumsatz [W/m ²]
Ruhend	0,8	46
Sitzend, entspannt	1,0	58
Sitzende Tätigkeit, (Büro, Schule, Labor)	1,2	70
Stehend, entspannt	1,2	70
Stehende Tätigkeit (z.B. Zeichenbrettarbeit)	1,2	93
Mäßige körperliche Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	1,6	116

* 1 met = 58 W/m²

Tabelle 5.3: Metabolische Wärmeproduktionsrate (pro m² Körperoberfläche) einer männlichen Standardperson abhängig von der Tätigkeit (Zapfel et al. 2006)

Tätigkeit	Metabolische Wärmeproduktionsrate [W/m ²]
Sitzende Tätigkeit (lesen)	55
Sitzende Tätigkeit (schreiben)	60
Sitzende Tätigkeit (Maschinenschreiben)	65
Sitzende Tätigkeit (Unterlagen ordnen)	70
Sitzende Tätigkeit (sprechen)	65
Stehende Tätigkeit (sprechen)	70
Stehende Tätigkeit (Unterlagen ordnen)	80
Gehen	100

Die Berechnung der Körperoberfläche kann anhand der folgenden Gleichung von Ruch und Patton (1965) erfolgen (Zapfel et al. 2006):

$$A = 0,202 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (5.1)$$

A Körperoberfläche [m²]

W Körpergewicht [kg]

H Körpergröße [m]

Die durchschnittliche Körpergröße und das durchschnittliche Körpergewicht von Kindern in Abhängigkeit des Alters, erhoben vom Forschungsinstitut für Kinderernährung, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 5.4: Körpergröße und Körpergewicht von Kindern (Mittelwerte) (Forschungsinstitut für Kinderernährung, 2004)

Körpergröße/Körpergewicht							
	Körpergröße			Körpergewicht			Körperoberfläche
Alter	Mädchen	Jungen	Durchschnitt	Mädchen	Jungen	Durchschnitt	Durchschnitt
[Jahre]	[cm]	[cm]	[cm]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[m ²]
3	96	97	96,5	14,5	14,9	14,7	0,62
4	103	104	103,5	16,6	16,8	16,7	0,69
5	111	111	111	19	19,1	19,05	0,76
6	117	117	117	21	21,2	21,1	0,83
7	122	124	123	23,3	24	23,65	0,90
8	129	130	129,5	26,8	26,9	26,85	0,99
9	135	135	135	29,8	29,6	29,7	1,06
10	142	141	141,5	34,5	33,5	34	1,16
11	148	147	147,5	38,8	37,1	37,95	1,26
12	154	156	155	43,7	45,1	44,4	1,39
13	158	161	159,5	46,3	50,5	48,4	1,47
14	165	174	169,5	54,3	59,3	56,8	1,65

Für eine erwachsene männliche Person wird meist 1,8 m² angesetzt.

5.1.2 Bekleidung

Die Wärmeabgabe einer Person wird durch die Bekleidung beeinflusst. Die Kleidung isoliert die Haut gegenüber der Umgebung und beeinflusst so die Behaglichkeit des Menschen. Die Wärmeabgabe durch die Kleidung wird vereinfacht durch den Wärmeleitwiderstand oder in „clothing units (clo)“ angegeben (wobei 1 clo = 0,155 m²K/W)

Tabelle 5.5: Wärmeleitwiderstände der Bekleidung nach ÖNORM EN ISO 7730:2006

Bekleidungsart	clothing units [clo]	Wärmeleitwiderstand [m ² K/W]
Keine Kleidung	0	0
Leichte Kleidung (Short, Hemd)	0,5	0,08
Kleidung mit Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe. Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen	0,65	0,10
Normale Arbeitskleidung	1	0,125–0,16
Starke winterliche Innenbekleidung	1,25	0,20

5.1.3 Raumlufttemperatur und Temperatur der Umschließungsflächen

Die vom Menschen empfundene (oder operative) Raumtemperatur ist eine Funktion der Raumlufttemperatur (Raumluftfeuchte) und der Temperatur der Raumbegrenzungsflächen. Der Grund dafür liegt darin, dass der Mensch seinen Wärmehaushalt über Wärmeleitung an die ihn umgebende Luft und über Strahlung, also Wärmeabgabe an die umgebenden Flächen reguliert. Die Temperatur von Wand- und Fensterflächen hängt einerseits vom Dämmstandard (U-Wert), andererseits aber auch vom gewählten Heizsystem ab. Bei einer relativ hohen Oberflächentemperatur kann die Lufttemperatur etwas geringer sein, ohne die Behaglichkeit zu reduzieren. Umgekehrt muss bei kalten Wänden die Lufttemperatur entsprechend höher sein, um die Behaglichkeit zu gewährleisten. Idealerweise sollte die Oberflächentemperatur etwa bei 20–25°C liegen und die Lufttemperatur bei 19–23°C (vgl. Recknagel 2001/2002).

Bei Gebäuden mit geringen Unterschieden zwischen Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen lässt sich die empfundene oder operative Temperatur nach der folgenden Formel berechnen:

$$T_o = \frac{T_A + T_R}{2} \quad (5.2)$$

T_o Operative Temperatur oder empfundene Temperatur

T_A Raumlufttemperatur

T_R Mittlere Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen

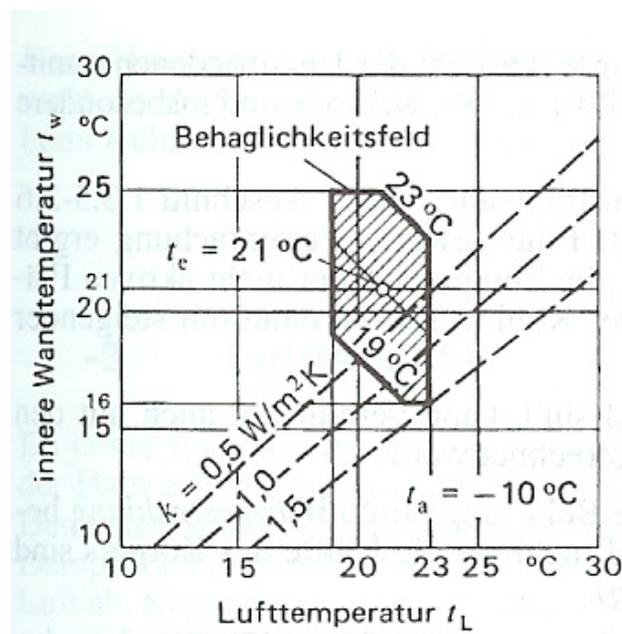


Abbildung 5.1: Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und mittlerer Oberflächentemperatur umschließender Flächen (Recknagel 01/02)

In der folgenden Abbildung ist die behagliche operative Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur dargestellt.

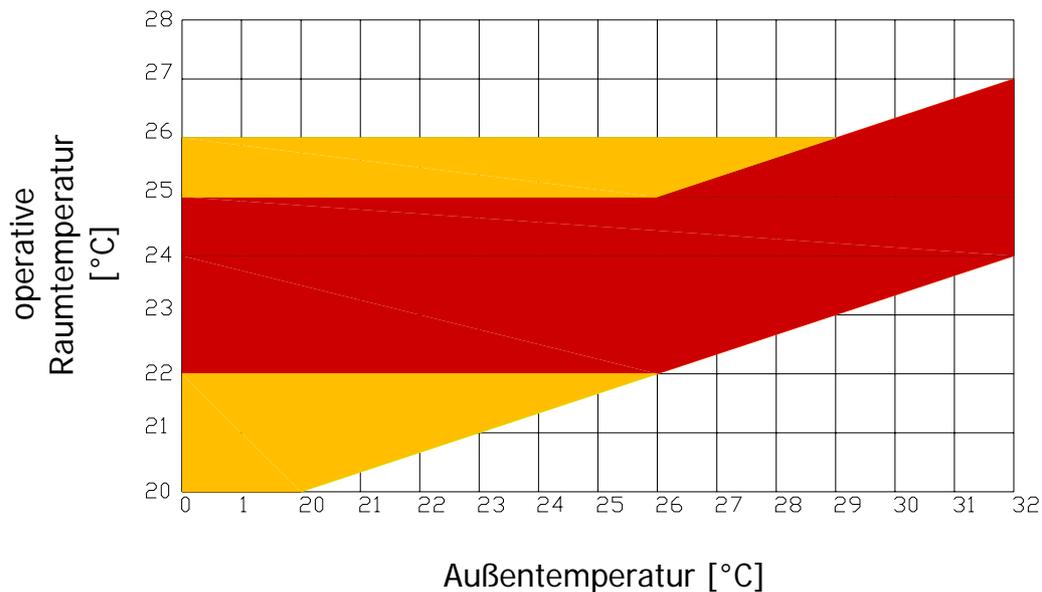


Abbildung 5.2: Operative Raumtemperatur abhängig von der Außentemperatur (DIN 1946-2:1994)

Berechnung der Temperatur der Umschließungsflächen:

Die mittlere Strahlungstemperatur beeinflusst die Wärmeabgabe einer Person und hat somit Einfluss auf die Behaglichkeit. Die mittlere Strahlungstemperatur berechnet sich laut folgender Formel.

$$T_R = \frac{\sum_i A_i * T_i}{\sum_i A_i} \quad (5.3)$$

A_i Teilfläche

T_i Temperatur der Teilfläche

Weiteren Einfluss auf die Behaglichkeit hat die Asymmetrie der Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen. Weisen zwei raumbegrenzende Bauteile einen starken Temperaturunterschied auf, erzeugt die resultierende Differenz des Strahlungsflusses in einem zwischen diesen Bauteilen befindlichen Menschen ein Unbehaglichkeitsgefühl (Fink et al. 2002).

5.1.4 Luftbewegung

Luftbewegungen sind notwendig, um den hygienisch notwendigen Luftwechsel im Raum zu ermöglichen. Zu starke Luftbewegungen werden jedoch als unangenehme Zegerscheinungen empfunden. Zegerscheinungen treten dann auf, wenn der Körper lokal durch Luftbewegung abgekühlt wird.

Gründe für Luftbewegungen in Räumen können Undichtheiten in der Gebäudehülle oder Konvektion aufgrund von hohen Temperaturdifferenzen im Raum (z.B. an Radiatoren, großen Fensterflächen) sein.

Die zulässige mittlere Luftgeschwindigkeit ist vom Prozentsatz der Personen, die aufgrund von Zegerscheinungen unzufrieden sind, abhängig. Dieses Zugluftrisiko ist von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad abhängig und lässt sich nach folgender Gleichung nach ÖNORM EN ISO 7730:2006 berechnen:

$$DR = (34 - t_R) * (v - 0,05)^{0,62} * (0,37 * v * TU + 3,14) \quad (5.4)$$

DR Zugluftrisiko in [%]

t_R lokale Raumlufttemperatur in [°C] 20 bis 26°C

v lokale mittlere Luftgeschwindigkeit in [m/s] < 0,5 [m/s]

TU lokaler Turbulenzgrad in [%] 10 bis 60 %, Standardwert 40 %

Der Turbulenzgrad gibt die Abweichungen der Momentangeschwindigkeit von der mittleren Geschwindigkeit an und wird nach der folgenden Gleichung berechnet.

$$TU = \frac{S_v}{\bar{v}} * 100 \quad (5.5)$$

SU Standardabweichung der Momentanwerte der Geschwindigkeit

\bar{v} mittlere Geschwindigkeit

Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt die mittlere Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich (Messung über 3 Minuten) lt. der folgenden Tabelle ersichtlich an. Die Standardwerte beziehen sich auf ein Zugluftrisiko von 15 % nach EN ISO 7730:2006. Die minimale Raumtemperatur von Klassenräume und Betreuungsräume liegt nach unterschiedlichen Vorschriften bei zumindest 20°C. Es darf daher eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,13 m/s nicht überschritten werden. In der Regel werden in Klassenzimmer eher 22°C Lufttemperatur erreicht. Insbesondere bei Quellluftauslässen ist jedoch zu beachten, dass die lokale Temperatur für die Bemessung anzusetzen ist.

Tabelle 5.6: Auslegungswerte für die Luftgeschwindigkeit nach ÖNORM EN 13779:2008

Lokale Lufttemperatur [°C]	Üblicher Bereich [m/s]	Standardwert [m/s]
20	0,10–0,16	0,13
21	0,10–0,17	0,14
22	0,11–0,17	0,15
24	0,13–0,21	0,17
26	0,15–0,25	0,20

5.1.5 Luftfeuchte

Der Mensch reguliert seinen Wärmehaushalt auch über die Atmung und Verdunstung. Bei normalen Raumtemperaturen um die 20°C spielt die Verdunstung allerdings eine untergeordnete Rolle. Im Allgemeinen wird bei 22°C Raumtemperatur eine relative Luftfeuchtigkeit von 30–70 % als angenehm empfunden. Vermehrte Aufwirbelung von Staub durch Konvektion und auch verschwelender Staub durch hohe Oberflächentemperaturen von Radiatoren, Glühheizkörpern, etc. wird als trockene Luft empfunden, auch wenn die gemessene relative Luftfeuchtigkeit über 30 % beträgt. Staub verschwelt ab einer Oberflächentemperatur an den Heizflächen von etwa 55°C (vgl. Recknagel 2001/2002). Mit der Staubverschwelung ist auch eine Geruchsbelästigung verbunden.

Hohe Luftfeuchtigkeit bindet Staub und hält ihn am Boden. Die Luftgeschwindigkeiten von Klassenzimmerlüftungen führen aufgrund der geringen Luftgeschwindigkeiten zu keinen Staubaufwirbelungen. Die Filter bei der Zuluft vermindern den Partikeleintrag von außen.

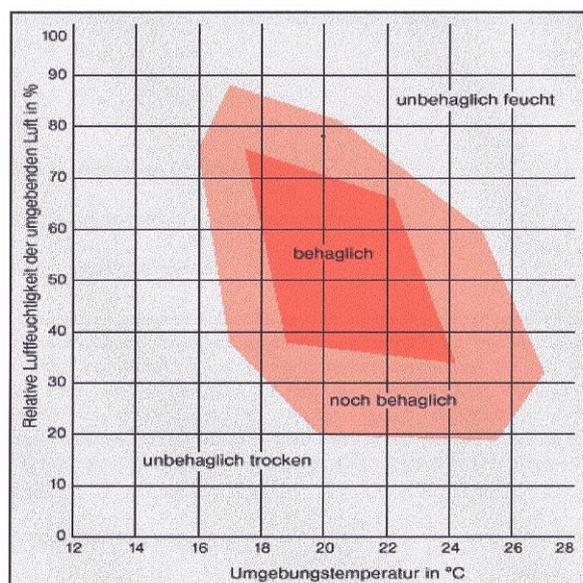


Abbildung 5.3: Diagramm mit eingetragenem Behaglichkeitsfeld abhängig von Temperatur und Feuchtigkeit. (Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die empfundene Luftqualität stark beeinflusst wird durch Temperatur und Feuchte der eingeatmeten Luft, und zwar auch dann, wenn die chemische Zusammensetzung der Luft unverändert bleibt und das thermische Empfinden über den ganzen Körper neutral ist. Das folgende Bild zeigt, dass Personen eher trockene und kühle Luft bevorzugen, die ihnen im Respirationsbereich bei jedem Einatmungsvorgang ein Gefühl der Abkühlung vermittelt (vgl. Recknagel et al. 2007/2008).

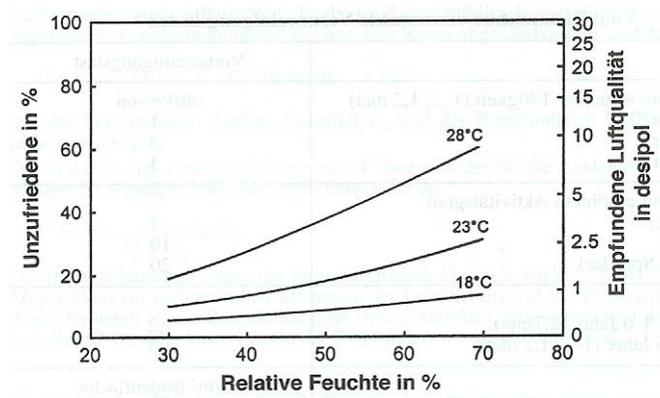


Abbildung 5.4: Der Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die empfundene Qualität reiner Luft. (Recknagel et al. 2007/2008)

In der EN 15251:2007 sind konkrete Auslegungswerte für die Feuchte angeführt:

- Kategorie I: Befeuchtung – Winterfall: 30 %; Entfeuchtung Sommerfall 50 %
- Kategorie II: Befeuchtung – Winterfall: 25 %; Entfeuchtung Sommerfall 60 %

Manchmal wird als Nachteil von Klassenzimmerlüftungen eine zu niedrige Luftfeuchte angeführt. Diese rührt aber meist von einer undichten Gebäudehülle, falschen Lüftungszeiten bei einer Lüftungsanlage bzw. zu geringem Feuchteeintrag. Idealerweise verfügt eine Klassenzimmerlüftung aber auch über eine hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung in Ausnahmefällen sogar über eine aktive Befeuchtung. Wenn eine aktive Befeuchtung ausgeführt wird, dann sollte nach ÖNORM EN 13779:2008 im Winter die absolute Feuchte zumindest einen Wert von 6 g/kg erreichen. Dies entspricht bei 22°C in etwa einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 %.

Voraussetzungen für ausreichende Feuchtwerte:

- Dichte Gebäudehülle
- Anpassung der Luftmenge an Bedarf (Anwesenheit; ev. Schülerzahlen; gemessene Luftqualität)

Lösungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Feuchtwerte:

- Erhöhter Feuchteintrag in der Klasse (z.B. Pflanzen), jedoch Problematik der erhöhten Feuchte in den warmen Monaten und der Betreuung in den Ferien.
- Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung
- Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung (in der Klasse oder mit der Lüftung)

Die noch immer vorhandene Unsicherheit über die tatsächlichen Zusammenhänge im Bereich relative Feuchte drückt sich auch im Recknagel aus: „Paradoxerweise wird bei Untersuchungen der Autoren (Palonen, Reinikainen, Jaakkola), wie auch in internationalen Untersuchungen, die Luft in Gebäuden mit zentraler Luftbefeuchtung (ca. 40–50 % r.F.) oft als unangenehm trocken beklagt. Zu den Hauptverursachern gehören wahrscheinlich überhöhte Lufttemperaturen mit Werten über 23°C. Allein die Senkung der Temperatur auf 21°C führte bereits zu dramatischer Besserung der Beschwerden“. Beschwerden über Lufttrockenheit lassen sich demnach am besten durch eine Vermeidung von schleimhautreizenden Staubquellen, Temperaturen unter 23°C und optimaler Luftführung minimieren“ (vgl. Recknagel et al. 2007/2008).

5.2 Raumlufqualität³

Die Raumlufqualität umfasst alle nichtthermischen Wirkungen der Raumluf, die Einfluss auf Wohlbefinden und Gesundheit des Menschen haben. Die Luft wirkt auf den Menschen in erster Linie über die Atmung, deren Zweck es ist, dem Körper den für den Stoffwechsel notwendigen Sauerstoff zu- und entstehendes Kohlendioxid abzuführen. Die Raumnutzer haben zwei Forderungen an die Raumluf: Erstens soll die Luft als frisch und angenehm und nicht als abgestanden und muffig empfunden werden, und zum anderen darf das Einatmen der Luft kein Gesundheitsrisiko darstellen. Die Luftqualität in Schulen wird bei schadstoffarmen Bau- und Einrichtungsstoffen bzw. schadstoffarmen Reinigungsmitteln hauptsächlich von den Personen selbst beeinflusst. Dabei spielen vor allem die CO₂- und Wasserdampfabgabe durch die Atmung und über die Haut eine entscheidende Rolle. Bei den Körperausdünstungen über die Haut handelt es sich um flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC), die wiederum – zumindest zum Teil – als Träger des vom Körper ausgehenden Geruchs angesehen werden können. Nach Wang (1975) sind etwa zwei Drittel der Verbindungen Aceton, Buttersäure, Ethanol und Methanol. Weitere Verbindungen sind: Acetaldehyd, Allylalkohol, Essigsäure, Amylalkohol, Diethylketon und Phenol. Insgesamt werden nach Wang (1975) durchschnittlich 14,8 mg/h an flüchtigen organischen Substanzen je Person freigesetzt.

³ Vgl. Greml A. et al.: „Technischer Status von Wohnraumlüftungen“ (2004)

Aufgrund des direkten Zusammenhanges von Geruchsbelästigungen durch Körperausdünstungen und CO₂-Konzentration und der leichteren Messung der CO₂-Konzentration hat sich die Klassifizierung nach der CO₂-Konzentration in Räumen etabliert, in denen Rauchen nicht erlaubt ist und Verunreinigungen hauptsächlich durch den menschlichen Stoffwechsel verursacht werden (vgl. ÖNORM 13779:2008).

Wesentliche Faktoren für die Raumluftqualität sind:

1. CO₂ als Indikator für andere Raumluftinhaltsstoffe
2. VOC und damit verbundene Gerüche
3. Feinstäube

Um Menschen unterschiedlicher Tätigkeit und damit unterschiedlicher „Ausdünstung“ untereinander, bzw. mit anderen Belastungen (Möbel, Teppiche, ...) vergleichen zu können, wurde die Vergleichseinheit „Personen-Gleichwert-Verunreinigungslast“ mit der Einheit „olf“ (lat. olfactus = Geruchssinn) geschaffen.

1 „olf“ entspricht der Luftverschmutzung durch eine Standardperson:



- 1,8 m² Hautoberfläche
- 1 met sitzende Tätigkeit
- 0,7-mal geduscht pro Tag
- täglich frische Wäsche

Abbildung 5.5: Vergleichseinheit für die Verschmutzung der Luft „olf-Wert“ (Recknagel, 01/02)

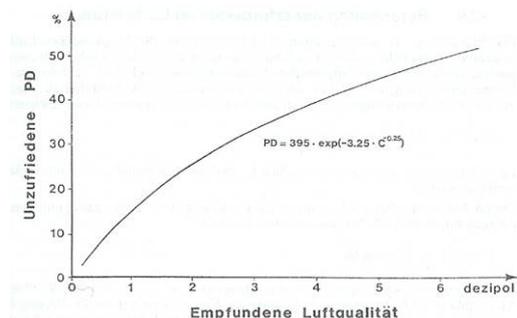
5.2.1 Die Beurteilung der Luftqualität

Eine Möglichkeit der Beurteilung der Innenraum-Luftqualität ist die Beurteilung nach Fanger (1988) in decipol. Dabei ist 1 decipol jene Luftverunreinigung, die entsteht, wenn 10 l/s reine Luft (36 m³/h) mit 1 olf verunreinigt wird. Decipol ist ein Maß für die Abschätzung der Luftqualität:

Tabelle 5.7 Beurteilung der Luftqualität (vgl. Zusammenstellung Dr. Kunesch, 2001)

100 decipol	Abgase am Schornstein
10 decipol	Sick building
1 decipol	Gesundes Gebäude
0,5 decipol	Innenstadt mit schlechter Luftqualität
0,1 decipol	Außenluft, Stadt
0,01 decipol	Außenluft, Gebirge, Meer

Zufriedenheit mit der Luftqualität



Die Zufriedenheit der Nutzer ist abhängig vom empfangenen Geruchspegel (decipol), der von der ausgetauschten Luftmenge und der Geruchsbelastung abhängt.

Abbildung 5.6: Abhängigkeit des Geruchspegels und der Unzufriedenheit. (Rechnagel 01/02)

Dieses Diagramm verdeutlicht, dass auch mit einer noch so guten Klassenzimmerlüftung keine 100%ige Zufriedenheit bezüglich der Raumluftqualität erreicht werden kann. Die Qualität der Luft in einem Klassenzimmer kann niemals die Außenluftqualität der unbelasteten Natur von 0,01 decipol (Gebirge) erreichen. Eine Klassenzimmerlüftung kann aber die Zahl der Zufriedenen gegenüber einem Raum ohne Lüftung deutlich erhöhen. Im Rechnagel et. al. 2007/2008 sind drei Klassen für die empfundene Raumluftqualität aufgelistet:

Tabelle 5.8: Luftqualität in decipol und Prozentsatz der Unzufriedenen (Rechnagel et al. 2007/2008)

Raumluftqualität	Unzufriedene in Prozent	Empfundene Luftqualität in [decipol]
Hoch (A)	15	1
Standard (B)	20	1,4
Minimum (C)	30	2,5

5.2.2 CO₂ als Lüftungsparameter⁴

Die wesentliche Bedeutung des relativ leicht zu ermittelnden Indikators CO₂ liegt darin, dass durch ihn Konzentrationen definiert werden, die einen Hinweis auf hygienisch unzureichende Raumluftqualität geben. Er eignet sich neben dieser Funktion als Orientierungsmarke auch für andere Regelungsbereiche, so z.B. für die Dimensionierung von raumlufttechnischen Anlagen oder für Lüftungsanweisungen in natürlich belüfteten, dichter belegten Räumen wie Schulklassen oder Versammlungsräumen. Für raumlufttechnische Anlagen wird CO₂ wegen seiner guten Indikatoreigenschaften für die Belastung der Luft mit anthropogenen Emissionen auch als Leitparameter sowie Regelgröße eingesetzt, über die die Menge an zuzuführender Frischluft bestimmt wird (Turiel und Rudy 1982, Fehlmann et al. 1993). Die ÖNORM EN 13779:2008 schlägt für Räume mit vorwiegendem Schadstoffausstoß durch Personen CO₂ als Lüftungsparameter vor.

5.2.3 Der Mensch als Quelle von CO₂ in Innenräumen⁵

In der Innenraumluft ist die CO₂-Konzentration neben der Konzentration in der Außenluft stark von der Belegung des Raumes, der Raumgröße und der Belüftungssituation abhängig. Höhere Konzentrationen treten dann auf, wenn sich relevante Quellen von CO₂ wie Menschen, Haustiere, bzw. CO₂-emittierende technische Anlagen im Raum oder dessen unmittelbarer Umgebung befinden oder wenn im Raum Verbrennungs- oder Gärungsvorgänge stattfinden. Bei unzureichenden Lüftungsverhältnissen oder unter Raumnutzungsbedingungen mit hoher Personenbelegung kann die CO₂-Konzentration in Innenräumen allein durch die von den Nutzern ausgeatmeten Mengen bis zu einer Größenordnung von 10.000 ppm (18.300 mg/m³) ansteigen.

In Innenräumen ist der Mensch die bedeutendste Quelle an CO₂. Die Literaturangaben der CO₂-Abgabe für erwachsene Personen schwanken in einem relativ weiten Bereich. Das Verhältnis der CO₂-Konzentration in inhaliertes zu exhaliertes Luft liegt bei ca. 1:140 (Pluschke 1996).

⁴ Vgl. Österr. BMLFUW (2006): „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“, Richtlinienenteil CO₂ als Lüftungsparameter. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

⁵ Wie ⁴

Tabelle 5.9: Literaturangaben für die CO₂-Abgabe von Menschen

Literaturstelle	Wert in [l/h ^a]	Anmerkung
Rietschel (1994)	20,4	Leichte, vorwiegend sitzende Tätigkeit, entspanntes Stehen
	27,2	Stehende Tätigkeit
Witthauer, Horn, Bischof (1993)	12	Ruhiger Zustand
	18	Sitzende Tätigkeit
	180	Schwerarbeit
Recknagel, Sprenger, Schramek (1999)	20	Leichte, vorwiegend sitzende Tätigkeit
VDI 4300 Bl. 9:2003, analog zu 4300 Bl. 7:2001	15–20	Sitzende Tätigkeit
	20–40	Leichte Arbeit
	40–70	Mittelschwere Arbeit
	70–110	Schwere Arbeit
ASHRAE (1989)	18	Büroarbeit

^a Angaben in Liter CO₂ pro Stunde

5.2.4 CO₂ – Allgemeine Wirkungen auf den Menschen⁶

Bei etwa 1.000 ppm empfinden rund 20 % der Personen die Raumluft als unbefriedigend (BUWAL 1997). Der Zusammenhang zwischen dem Anteil an Unzufriedenen und der CO₂-Konzentration (als Konzentration über der Außenluftkonzentration) kann nach folgender Formel abgeschätzt werden (ECA 1992):

$$PD = 395 \cdot \exp(-15,15 \cdot C^{-0,25})$$

PD = Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen in % (dissatisfied persons)
 C = Konzentration an CO₂ in ppm über der Außenluftkonzentration

⁶ Vgl. Österr. BMLFUW (2006): „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“, Richtlinienenteil CO₂ als Lüftungsparameter. Hrsg: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

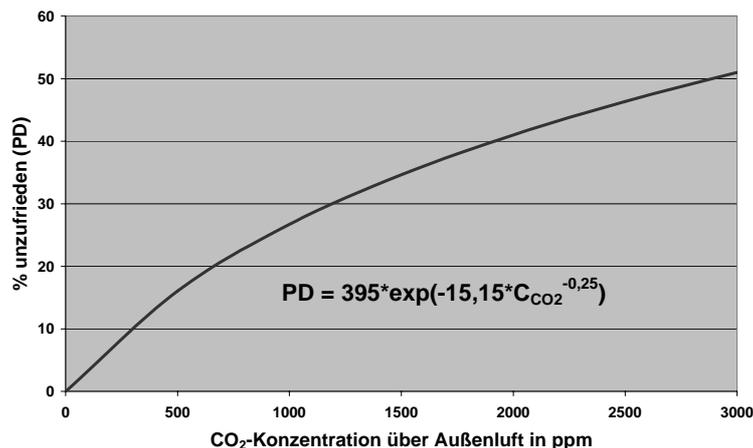


Abbildung 5.7: Korrelation zwischen CO₂-Konzentration als Indikator für anthropogene Emissionen und Anzahl der unzufriedenen Personen (PD in %) in einem Raum (nach ECA 1992)

Obwohl CO₂ in den in Innenräumen üblicherweise auftretenden Konzentrationen in der Regel kein unmittelbares Gesundheitsrisiko darstellt, können ab bestimmten Konzentrationen Befindlichkeitsstörungen wie z.B. Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit und Konzentration, sowie Kopfschmerzen auftreten (Müller-Limroth, 1977).

Über die physiologischen Wirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen liegen umfangreiche Erkenntnisse aus der Arbeitsmedizin, aber auch aus luft- und raumfahrtmedizinischen Untersuchungen vor. In den bisher angesprochenen Konzentrationsbereichen deutlich unterhalb von 10.000 ppm (18.300 mg/m³) sind keine unmittelbaren physiologischen Wirkungen durch CO₂ zu erwarten. Als Vergiftungszeichen werden bei hohen CO₂-Konzentrationen zunächst u. a. Kopfschmerzen, Schwindel, Ohrensausen, Reflexverlangsamung, motorische Unruhe, Doppeltsehen, Verlust der Augenbewegung, Gesichtsfeldausfälle und schließlich Bewusstseinsstörungen, Bewusstlosigkeit und ein Anstieg der Körpertemperatur sowie eine allgemeine Hypoxie genannt (Greim 1994). Weiters treten Erstickungserscheinungen auf und ab ca. 100.000 ppm (183.000 mg/m³) sind Schwindel und Bewusstseinsverlust dokumentiert, bei noch höheren Konzentrationen tritt vollständige Bewusstlosigkeit ein (Pluschke 1996). Bei extrem hohen CO₂-Konzentrationen in der Luft kann es auch zu Todesfällen kommen (typische Gärkellerunfälle).

Im Körper führt die Exposition gegenüber erhöhten CO₂-Konzentrationen zu einem Anstieg des CO₂-Partialdrucks im Blut. Daraus entwickelt sich über die Hydratation des CO₂ ein Anstieg der H⁺- und HCO₃⁻-Konzentration, der zu einer respiratorischen Azidose führt, wenn die Pufferkapazität im Blut überschritten ist. Dies löst eine schnellere Atmung und eine erhöhte Abgabe des CO₂ aus (pulmonale Kompensation), während parallel das Säure-Basen-Gleichgewicht über die Niere wieder ausgeglichen wird (renale Kompensation) (Pluschke 1996).

5.2.5 Bestehende Regelungen für CO₂⁷

Pettenkofer definierte Mitte des 19. Jahrhunderts einen Richtwert für die maximale CO₂-Konzentration in Wohn- und Aufenthaltsräumen mit einem Wert von 1.000 ppm (0,1 Vol%) CO₂, die so genannte Pettenkofer-Zahl (Pettenkofer 1858), die als Basis für Berechnungen und Regelungen vor allem im Bereich raumluftechnischer Anlagen herangezogen wurde (siehe z.B. ÖNORM H 6000-3:1989).

In der deutschen DIN 1946-2:1994 wurde im Teil 2 (Gesundheitstechnische Anforderungen) gefordert, dass der mittlere Volumengehalt an CO₂ 1.500 ppm (0,15 Vol%) nicht überschreiten soll.

In der ÖNORM EN 13779:2008 wird eine Klassifizierung von Räumen, die typischerweise dem Aufenthalt von Menschen dienen und in denen keine bedeutenden Emissionen anderer Quellen zu erwarten sind, über die CO₂-Konzentration beschrieben (siehe Tabelle). Es wird allerdings nicht festgelegt, ob sich die Klassifizierung auf Spitzen- oder Durchschnittswerte bezieht. Die angegebene CO₂-Konzentration wird als Konzentration über dem CO₂-Gehalt der Außenluft definiert.

In Österreich liegt der derzeit gültige MAK-Wert für CO₂ laut Grenzwertverordnung (2003) bei 5.000 ppm bzw. 10.000 ppm als Momentanwert für den Beurteilungszeitraum von 60 Minuten. Die deutsche MAK-Werte-Kommission legte einen MAK-Wert von 5.000 ppm fest (MAK- und BAT-Werte-Liste 2003). Der MAK-Wert ist allerdings für die Beurteilung der Raumlufkonzentration von Büros, Schulen, Wohnräume etc. nicht zugelassen, da er sich ausschließlich auf CO₂ als Arbeitsstoff bezieht.

Im Leitfaden des deutschen Umweltbundesamtes Berlin (UBA 2003) für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden wird die Meinung vertreten, dass zur Einhaltung des hygienischen Bereiches von unter 1.500 ppm CO₂ ein 3- bis 4-facher Luftwechsel pro Stunde erforderlich ist, dies würde allerdings in der Praxis nur durch eine raumluftechnische Anlage mit hohem Luftwechsel erreicht werden können.

In den Schulbaurichtlinien (2007) des Österreichischen Institutes für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS) sind ebenfalls 1.500 ppm als Richtwert angeführt (angelehnt an das Umweltbundesamt Berlin).

⁷ Vgl. BMLFUW (2006): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf, Richtlinienenteil CO₂ als Lüftungsparemeter. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft werden CO₂-Konzentrationen in Innenräumen bewertet. Diese beziehen sich zum Teil auf die Vorgaben der ÖNORM EN 13779 (BMLFUW 2006). Weiters werden Mindestvorgaben für die Innenraumluft festgelegt (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 5.10: Klassifizierung der Innenraumluftqualität im Hinblick auf CO₂ nach BMLFUW 2006

Beurteilungswert als CO ₂ -Konzentration (absolut)	Beschreibung der Innenraum-Luftqualität
< 800 [ppm]	Spezielle Raumluftqualität
800–1000 [ppm]	Hohe Raumluftqualität
1000–1400 [ppm]	Mittlere Raumluftqualität
1400–1900 [ppm]	Niedrige Raumluftqualität
> 1900 [ppm]	Sehr niedrige Raumluftqualität

Tabelle 5.11: Anforderungen an natürlich und mechanisch belüftete Gebäude im Hinblick auf CO₂ nach BMLFUW 2006

Mindest- und Zielvorgaben für dauernd von Menschen genutzte Innenräume	
natürlich belüftete Innenräume	mechanisch belüftete Innenräume
Zielbereich für die Innenraumluft < etwa 1.000 [ppm]	Zielbereich für die Innenraumluft < etwa 800 [ppm]
Mindestvorgabe 1-MWg < etwa 1.400 [ppm]	Mindestvorgabe 1-MWg < etwa 1.000 [ppm]
Mindestvorgabe Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum: < etwa 1900 [ppm]	Mindestvorgabe Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum: < etwa 1.400 [ppm]

1-MWg = maximaler gleitender Stundenmittelwert

Zusammenfassung der verschiedenen Richtwerte:

Tabelle 5.12: Vergleich der Richtwerte für die CO₂-Konzentration in einem Raum

Norm oder Richtlinie	Wert [ppm]
ÖNORM EN 13779 Achtung: CO ₂ -Konzentration über Außenluft	IDA 1 – spezielle Raumluftqualität < 350 über AUL*
	IDA 2 – hohe Raumluftqualität 400–600 über AUL*
	IDA 3 – mittlere Raumluftqualität 600–1.000 über AUL*
	IDA 4 – niedrige Raumluftqualität >1.000 über AUL*
Pettenkofer	1.000 (absolut)
ASHARE	1.000 (absolut)
DIN 1946-2:1994	1.000 (absolut)
UBA Berlin 2003	1.500 (absolut)
ÖISS 2007	1.500 (absolut)
BMLFUW 2006 für mech. belüftete Räume	Mindestvorgabe: < 1.400 (absolut) Mindestvorgabe < 1.000 (Gleitender Mittelwert, absolut) Zielbereich < 800 (absolut)

*AUL Außenluftkonzentration Land: 350 ppm, Stadt: 400 ppm, Stadtzentren 450 ppm

5.2.6 CO₂ in Schulen – Berechnungsprogramme

Der CO₂-Wert in Klassenzimmern sollte nach den vorausgegangenen Ausführungen bzw. den Festlegungen in den 61 Qualitätskriterien (Kapitel 9.4) 1.200 ppm bzw. als Zielwert 1.000 ppm (bzw. 1.400 ppm als oberstes Maximum) nicht überschreiten.

Diese Werte lassen sich nur durch ständig gekippte Fenster, Stoßlüftung alle 10 bis 15 Minuten oder durch eine mechanische Lüftungsanlage erreichen. Da ständig gekippte Fenster und eine Stoßlüftung alle 10 bis 15 Minuten einerseits unkomfortabel, bzw. nicht praktikabel sind, und im Winter zudem hohe Wärmeverluste bedeuten, bleibt im Normalfall nur eine mechanische Lüftungsanlage als praktikable Lösung.

Welche Luftmenge pro Schüler welche CO₂-Werte der Raumluft bedeutet, kann man mit zwei kostenlosen Programmen abschätzen:

- CO₂ Modellrechner – Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes Download: www.nlga.niedersachsen.de
- Excel-Programm zur Berechnung des CO₂-Konzentration in Innenräumen und Schulen – Innenraum Mess- und Beratungsservice www.innenraumanalytik.at

5.2.6.1 CO₂-Modellrechner – Niedersächsisches Landesgesundheitsamt

Eingabemaske und Auswertung des CO₂-Modellrechners des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes.

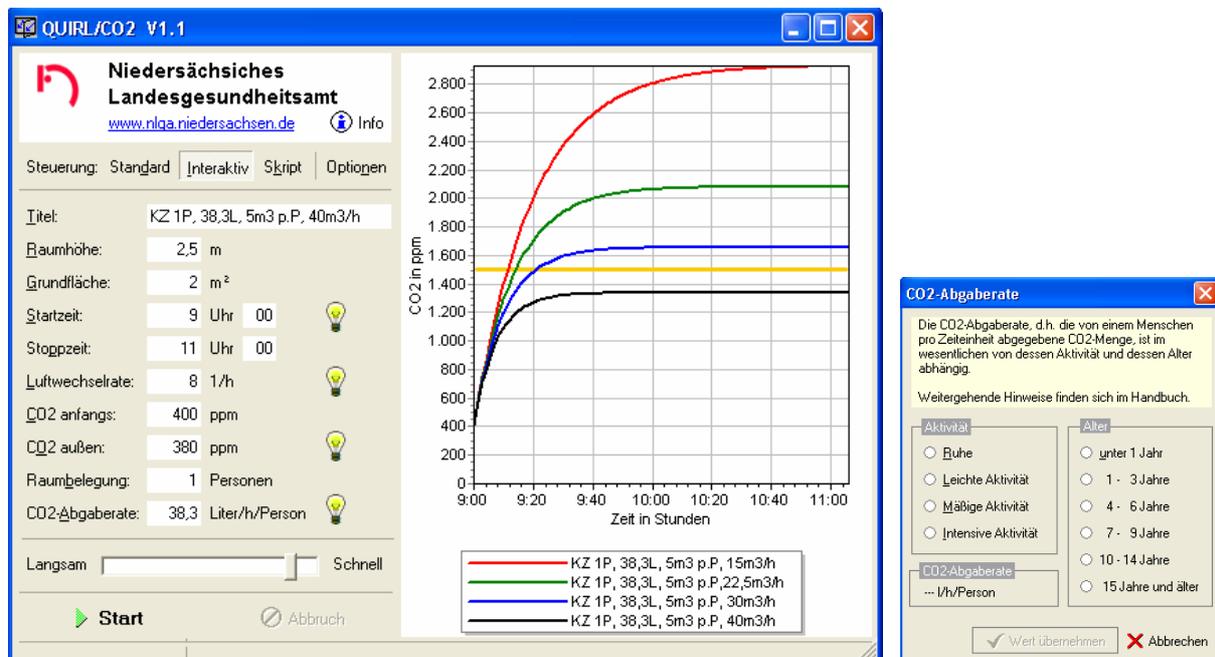


Abbildung 5.8: Eingabemaske einer Beispielberechnung mit dem CO₂-Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes

5.2.6.2 CO₂-Berechnungsblatt – Innenraum Mess- und Beratungsservice

Bitte in türkis unterlegte Felder eingeben! Hellblau unterlegte Felder: optionale Eingabe!

Gleichbleibende Parameter		
Parameter	Einheit	Wert
Fläche des Klassenraumes	[m ²]	63
Höhe des Klassenraumes	[m]	3
Fenstertyp/ Grundlüftung	a-g	a
CO ₂ -Konzentration Außenluft	[ppm]	380
CO ₂ -Konzentration Unterrichtsbeginn	[ppm]	600
Veränderbare Parameter		
Parameter	Einheit	Wert
Schulstunden Beginn (Pausen dunkel)	[h:min]	08:00
Schulstunden Ende (Pausen dunkel)	[h:min]	08:05
Betrachtungseinheit Anfang	[h:min]	00:00
Betrachtungseinheit Ende	[h:min]	00:05
Anzahl der Schüler	[1]	25
Alter der Schüler	[a]	12
Aktivitätsgrad Schüler	[met]	1,2
Anzahl der Lehrer	[1]	1
Aktivitätsgrad Lehrer	[met]	1,6
Lüftungszustand	u-z	u
Resultierender Luftwechsel im Raum	[h ⁻¹]	0,05
Fenstertyp/ Grundlüftung		
Parameter	LW	Kürzel
Sehr dichte Fenster, neue Fenster	0,05	a
Eher dichte Fenster	0,10	b
Durchschnittlich dichte Fenster	0,20	c
Eher undichte Fenster	0,35	d
Sehr undichte Fenster	0,50	e
Kontrollierte mechanische Raumbelüftung	1,0	f
Kontr. mechanische Raumbelüftung hohe Leistungsstufe	2,0	g
Lüftungszustand		
Parameter	LW	Kürzel
geschlossene Fenster	a-g	u
1 von 3 Fenstern gekippt	1	v
alle Fenster gekippt	3	w
alle Fenster gekippt - querlüften	5	x
Alle Fenster voll geöffnet	10	y
Alle Fenster voll geöffnet - querlüften	20	z
Aktivitätsgrad		
Parameter		Wert
Schlafend/ Ruhend		1
Sitzende Aktivität		1,2
Sitzend, fallweise stehend		1,4
Stehende Aktivität mit leichter Bewegung		1,6
Stehende Aktivität mit stärkerer Bewegung		2

08:05	08:10	08:15	08:20
08:10	08:15	08:20	08:25
00:05	00:10	00:15	00:20
00:10	00:15	00:20	00:25
25	25	25	25
12	12	12	12
1,2	1,2	1,2	1,2
1	1	1	1
1,4	1,4	1,4	1,4
u	u	u	u
0,2	0,2	0,2	0,2



Abbildung 5.10: Eingabemaske des Excel Programms zur Berechnung der CO₂-Konzentration in Innenräumen und Schulen – Innenraum Mess- und Beratungsservice

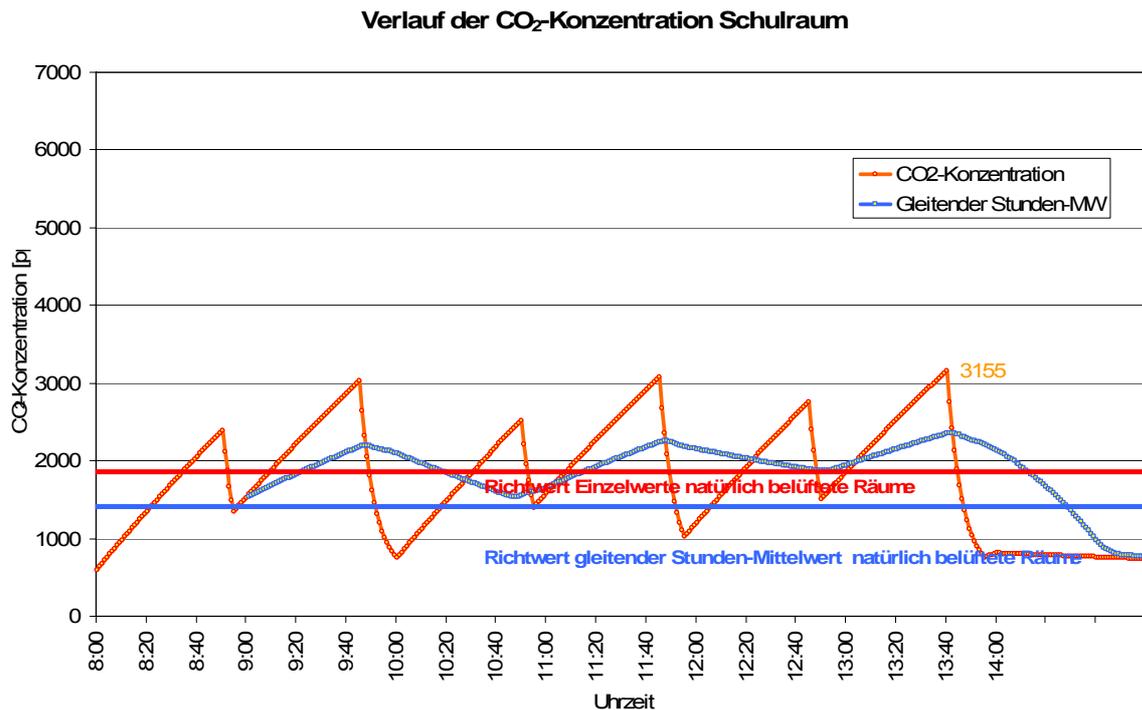


Abbildung 5.11: Auswertungsgrafik des Excel Programms zur Berechnung der CO₂-Konzentration in Innenräumen und Schulen – Innenraum Mess- und Beratungsservice

5.2.7 CO₂ in Schulen – Modellvarianten

Im folgendem werden die Ergebnisse von verschiedenen Modellvarianten mit den beiden Programmen dargestellt, um die Abhängigkeiten des CO₂-Wertes aufzuzeigen. Die Berechnungen gehen immer von einer vollständigen Durchmischung der Raumluft aus.

In den Modellvariationen werden folgende Zusammenhänge dargestellt:

Bei Fensterlüftung: (Mit Excel Programm von Innenraumanalytik)

1. Typischer CO₂-Verlauf bei unterschiedlicher CO₂-Konzentration in der Außenluft
 - Stadt 450 [ppm]
 - Land 380 [ppm]

2. Typischer CO₂-Verlauf bei unterschiedlicher Möglichkeit der Fensterlüftung
 - nur gekippte Fenster mit Querlüftungsmöglichkeit (5-facher LW)
 - ganz geöffnete Fenster ohne Querlüftungsmöglichkeit (10-facher LW)
 - ganz geöffnete Fenster mit Querlüftungsmöglichkeit (20-facher LW)

3. Typischer CO₂-Verlauf bei unterschiedlichen Klassengrößen

- eher knappes Raumangebot (63 m² und 3 m Raumhöhe; V = 189 m³)
- großzügiges Raumangebot (100 m² und 3,6 m Raumhöhe, V = 360 m³)
- großzügiges Raumangebot (100 m² und 3,6 m Raumhöhe, V = 360 m³) und optimale Fensterlüftung in den Pausen (20-facher LW)

In den Berechnungen wurden folgende Bereiche als Ausgangsbasis verwendet:

- Spezifische Raumgröße: 63 m² und 3 m Raumhöhe
- Durchschnittliche Dichtheit der Fenster (Kategorie c: LW = 0,2 h⁻¹)
- Lüftungsmöglichkeit in der Pause über gekippte Fenster mit Querlüftungsmöglichkeit (5-facher LW), Fenster während des Unterrichts geschlossen
- 25 Schüler mit Aktivitätsgrad 1,2 met, 1 Lehrperson mit Aktivitätsgrad 1,6 met), in den Pausen 12 Schüler mit 1,6 met
- Zeitraum: Es wurde immer über den Zeitraum von 8:00 bis 14:00 simuliert.
- CO₂ Werte der Außenluft 450 ppm (Stadt)

Mit mechanischer Lüftung: (Mit CO₂ Modellrechner - Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes)

1. Typischer CO₂-Verlauf bei unterschiedlichen Aktivitätsgraden
2. Typischer CO₂-Verlauf bei unterschiedlicher Luftmenge pro Schüler

In den Modellvariationen wurden folgende Bereiche als Ausgangsbasis verwendet:

- Spezifisches Raumvolumen pro Schule: Die durchschnittliche Klassengröße laut ÖISS beträgt ca. 63 bis 70 m² bei einer Mindesthöhe von 3 m (Empfehlung 3,2 m). Dies ergibt bei max. 30 Schülern und einer Lehrperson pro Schulklasse ein Raumvolumen von ca. 6 m³ pro Person.
- Zeitraum: Es wurde immer über den Zeitraum von 1 Std. und 40 min simuliert, dem typische Zeitraum zwischen zwei Pausen.
- Die Infiltration durch eine undichte Gebäudehülle ist in der zugeführten Luftmenge enthalten.
- CO₂ Werte der Außenluft 380 ppm (Land) und 450 ppm (Stadt)

5.2.7.1 Typischer CO₂-Verlauf mit Fensterlüftung

5.2.7.1.1 Stadt – Land

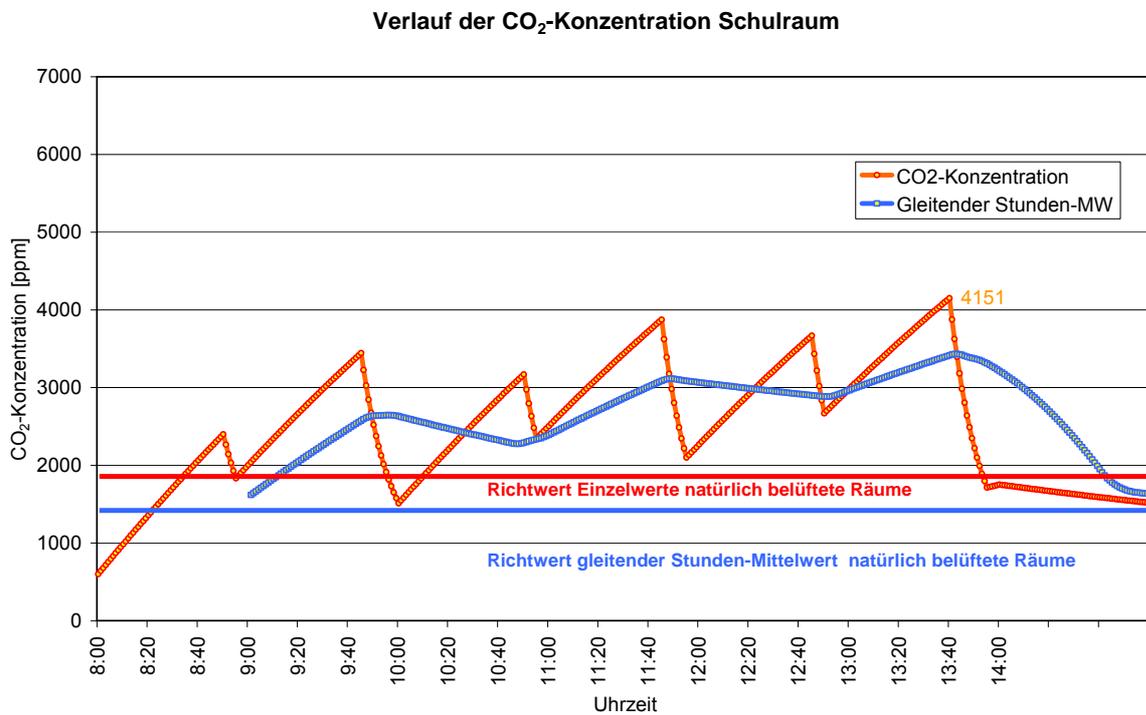


Abbildung 5.12: Gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO₂

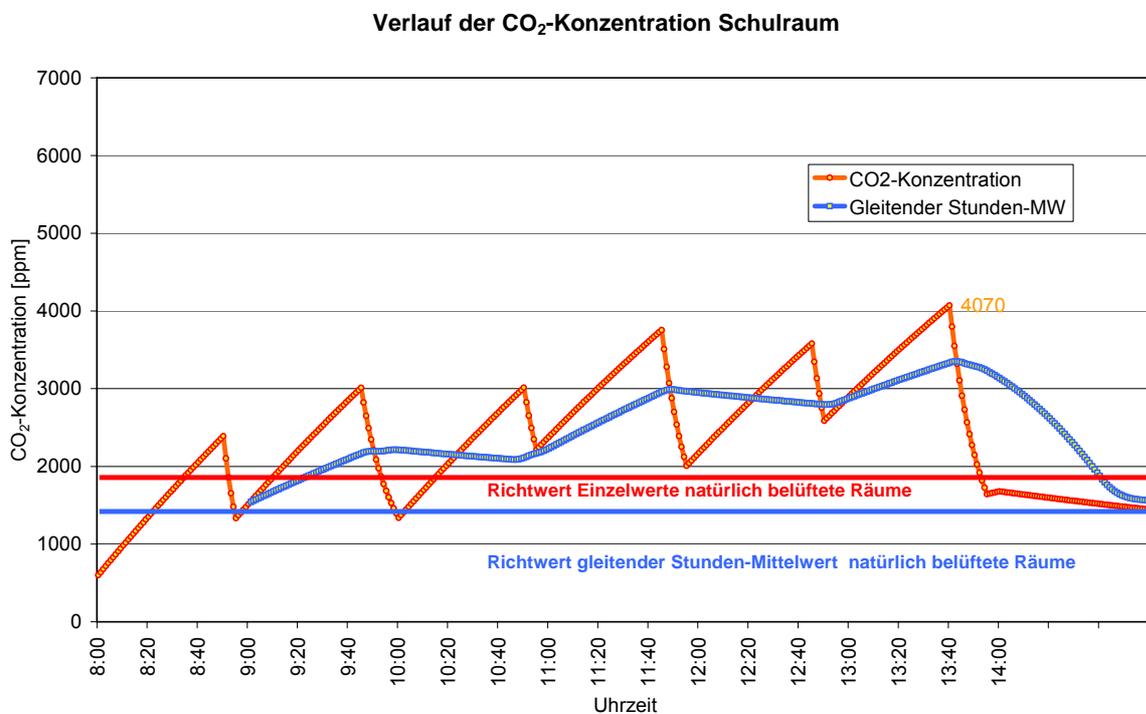


Abbildung 5.13: Gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Land mit 380 ppm CO₂

Resümee – Stadt-Land: Die CO₂-Außenluftkonzentration, d.h. ob Stadt (450 ppm) oder Land (380 ppm) spielt nur eine untergeordnete Rolle. Die CO₂-Spitzenwerte ändern sich von 4.070 ppm am Land auf 4.150 ppm in der Stadt.

5.2.7.1.2 Verbesserte Fensterlüftungsmöglichkeit

Deutlich mehr Einfluss hat die Lüftungsmöglichkeit mit ganz geöffneten Fenstern (10-facher LW) in der Pause. Sie senkt die CO₂-Maximalkonzentration von 4.070 ppm auf 3.200 ppm in der Stadt bzw. 3.130 ppm am Land. Bei ganz geöffneten Fenstern mit Querlüftungsmöglichkeit senkt sich der Spitzenwert auf 2.630 ppm.

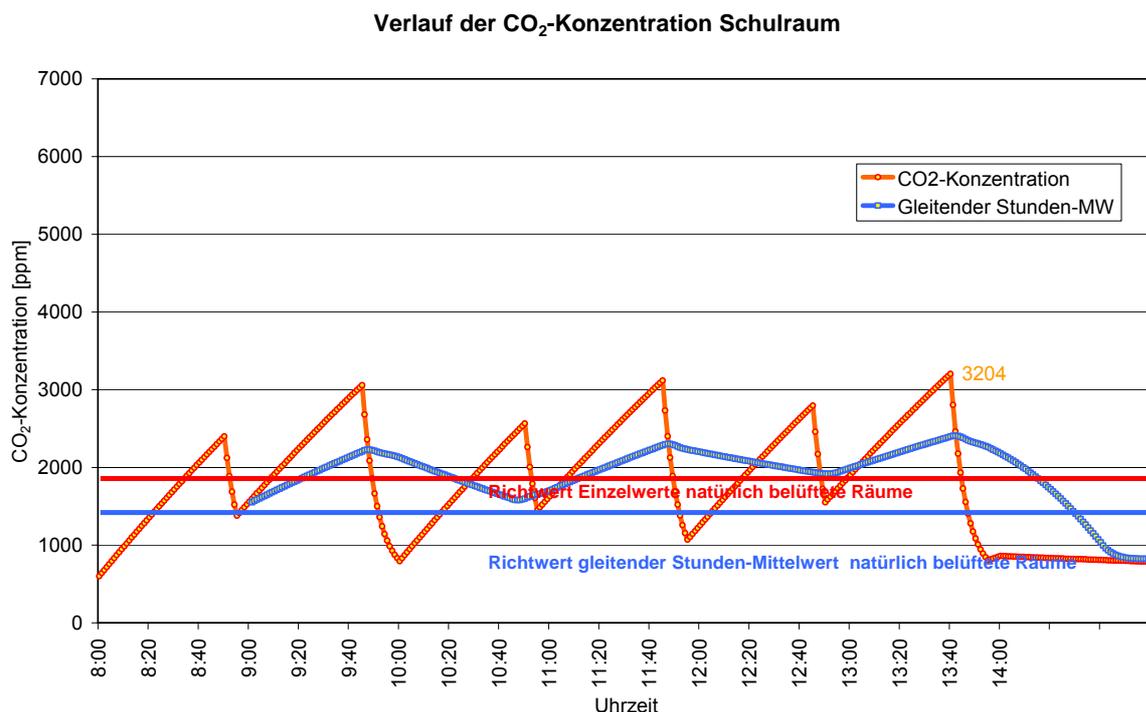


Abbildung 5.14: Ganz geöffnete Fenster in der Pause (10-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO₂

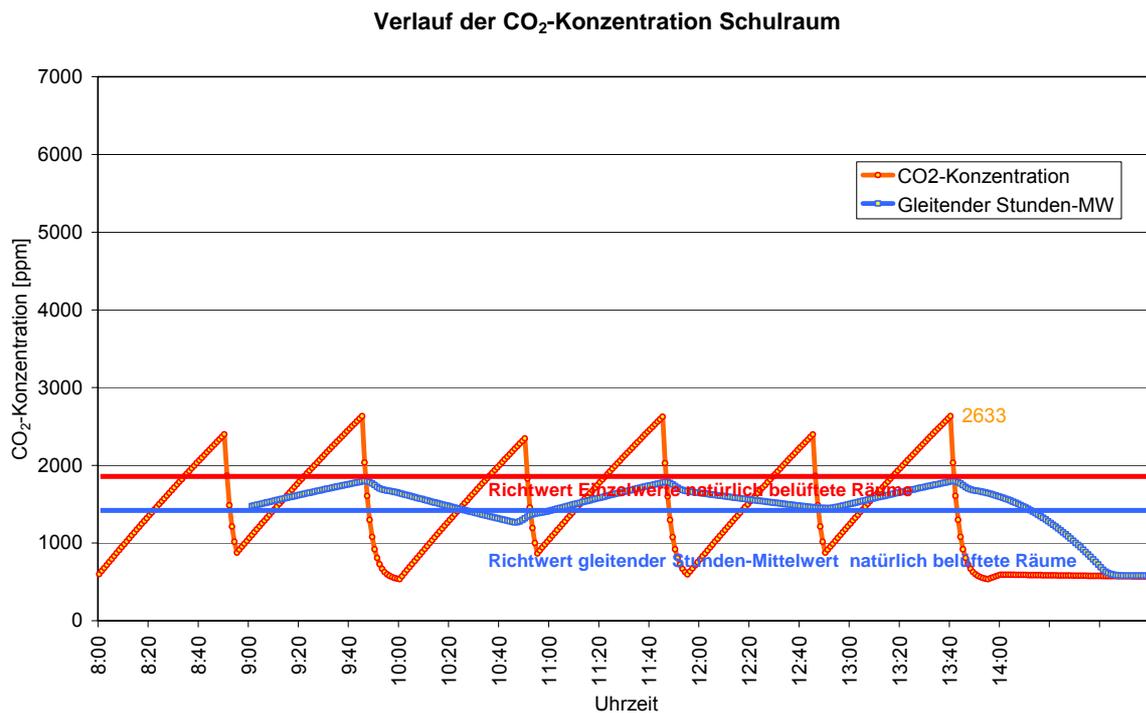


Abbildung 5.15: Ganz geöffnete Fenster in der Pause mit Querlüftungsmöglichkeit (20-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO₂

Resümee – Verbesserte Fensterlüftungsmöglichkeit: Man erkennt, dass nur mit einer Fensterlüftung auch im optimalen Fall, d.h. mit einer Lüftung in den Pausen durch ganz geöffnete Fenster mit Querlüftungsmöglichkeit, keine ausreichende Luftqualität gewährleistet werden kann. Es müsste auch während des Unterrichtes gelüftet werden, was in der Praxis nur schwer umzusetzen ist. Zudem ist eine Querlüftungsmöglichkeit mit ganz geöffneten Fenstern in vielen Schulen gar nicht möglich, bzw. sind ganz geöffnete Fenster aus Sicherheitsgründen grundsätzlich problematisch und in vielen Schulen in der Pause (ohne Anwesenheit einer Lehrperson) verboten.

Eine Lüftungsampel bietet eine optische Hilfestellung für rechtzeitiges aktives Lüften während des Unterrichtes. Nähere Informationen zur Lüftungsampel finden sie im Anhang.

5.2.7.1.3 Vergrößertes Raumvolumen pro Schüler

Die Auswirkungen einer Vergrößerung des Klassenraumes bzw. des Luftvolumen pro Schüler, wie es auf lufthygienischer Sicht oft gefordert wird, ist in den folgenden beiden Abbildungen zu sehen.

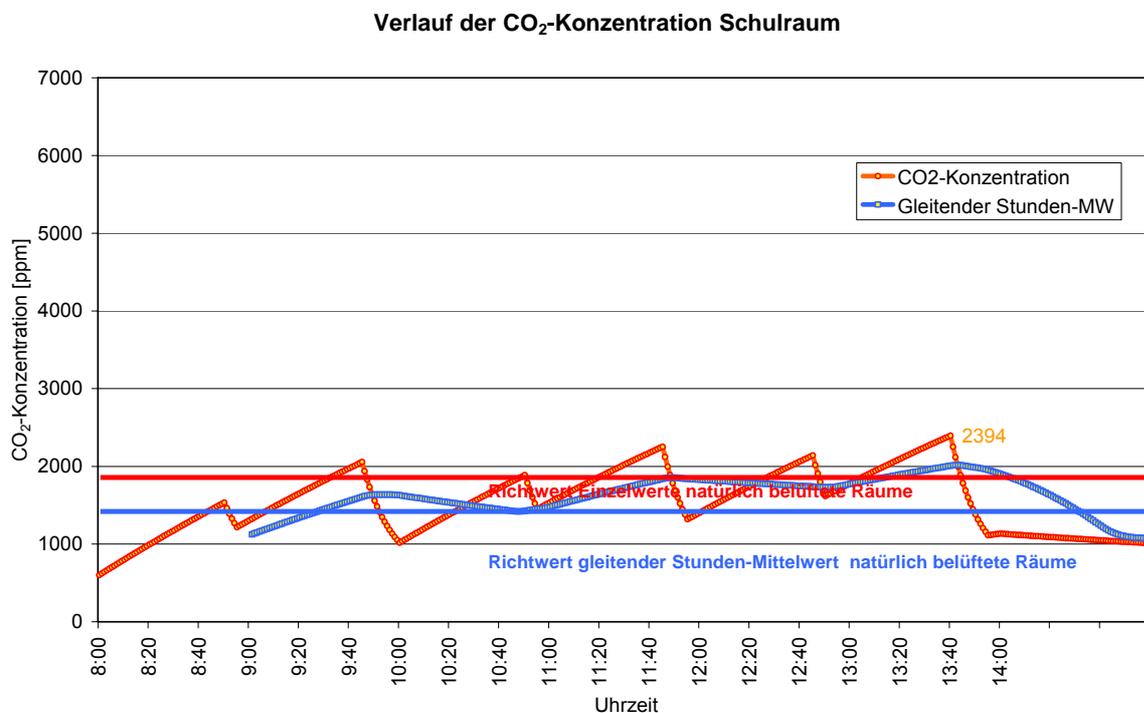


Abbildung 5.16: 360 m³ Raumvolumen, gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO₂

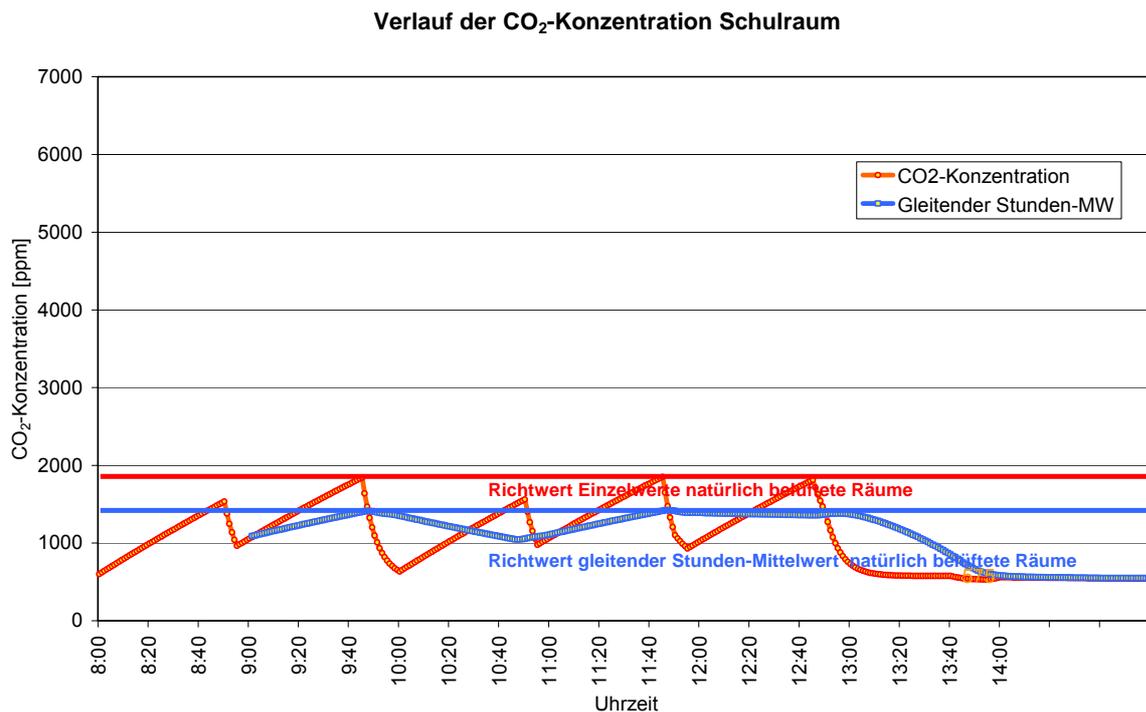


Abbildung 5.17: 360 m³ Raumvolumen, ganz geöffnete Fenster in der Pause (10-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO₂

Bei einer Verdoppelung des Raumvolumens ergeben sich insgesamt zwar verbesserte CO₂-Konzentrationen aber dennoch ist man bei Querlüftung mit gekippten Fenstern in der Pause vom Richtwert von 1.400 ppm weit entfernt und erreicht einen Spitzenwert von 2.390 ppm. Erst mit einer Kombination von unrealistisch großem Raumvolumen und optimaler Fensterlüftungsmöglichkeit würden sich CO₂ Maximalwerte unter 1.900 ppm ergeben.

Resümee – vergrößertes Raumvolumen: Eine reine Vergrößerung des Klassenraumes bringt keine ausreichende Verbesserung bzw. bedeutet keine Problemlösung. D.h. aus lufthygienischer Sicht ist es daher besser, statt einer Erhöhung des spezifischen Raumvolumens pro Schülers eine angemessene Klassengröße zu wählen und dafür eine entsprechende Lüftungsanlage vorzusehen.

5.2.7.2 Typischer CO₂-Verlauf mit Lüftungsanlage

5.2.7.2.1 Unterschiedliche Aktivitätsgrade

Variation einmal mit 25 m³/h und einmal mit 35 m³/h Gesamtluftvolumenstrom (Lüftung + Infiltration): Schüler 10–14 Jahre, Ruhe (14,3 Liter CO₂/h) leichte Aktivität (28,3 Liter CO₂/h), mäßige Aktivität (76,7 Liter CO₂/h):

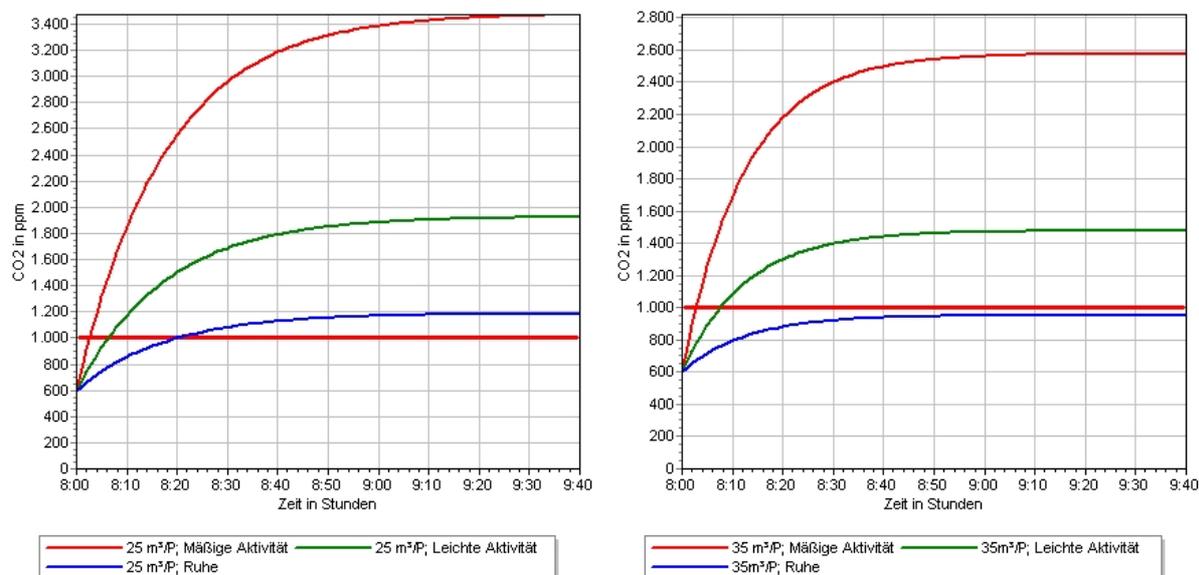


Abbildung 5.18: Beispielberechnung mit CO₂-Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, mit unterschiedlichen Aktivitätsgraden bei 25 m³/h

Abbildung 5.19: Beispielberechnung mit CO₂-Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, mit unterschiedlichen Aktivitätsgraden bei 35 m³/h

Resümee – Aktivitätsgrad: Man sieht aus der Modellrechnung sehr gut, wie stark die Aktivität der Schüler eingeht. Schon bei leichten Aktivitätsgraden (38,3 Liter CO₂/h) wären nach diesem Ansatz theoretisch bis zu 45 m³/h Außenluft notwendig, um den CO₂-Gehalt im Klassenzimmer unter 1.000 ppm zu halten. Bei „Ruhe“ (20,0 Liter CO₂/h) reichen dazu 24 m³/h.

Kritische Anmerkung zum Programm: Die Zuordnung von 76,7 Liter CO₂/h für mäßige Aktivität eines Schülers von 10 bis 14 Jahren erscheint sehr hoch. Insbesondere wenn man die Zuordnung von 40 bis 70 Liter CO₂/h einer erwachsenen Person bei mittelschwerer Arbeit nach VDI 4300 Bl. 9:2003 vergleicht.

5.2.7.2 Unterschiedliche Luftmengen

Variation von 15 bis 45 m³/h:

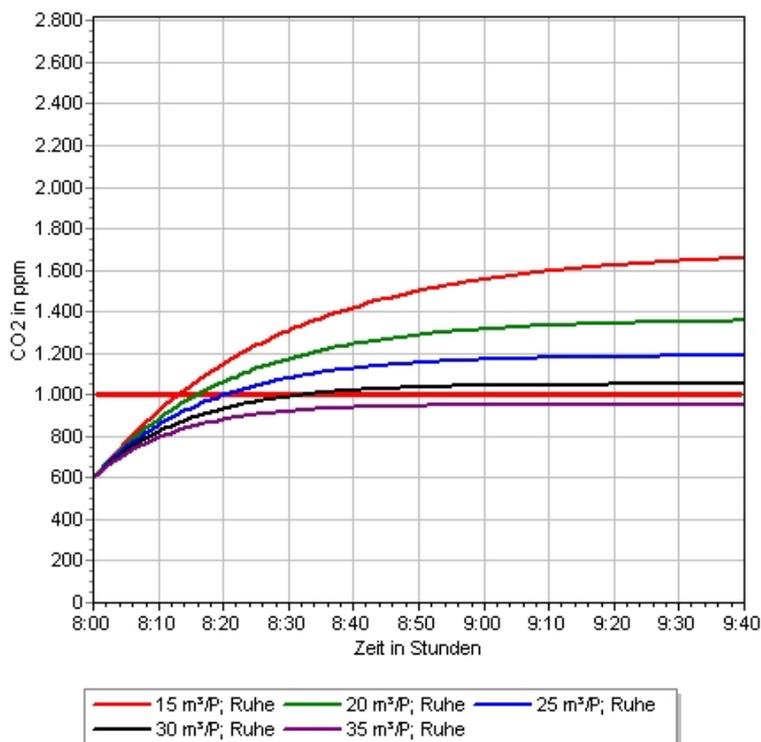


Abbildung 5.20: Beispielberechnung mit CO₂-Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes: Schüler 10–14 Jahre, Ruhe; 15 bis 35 m³/h

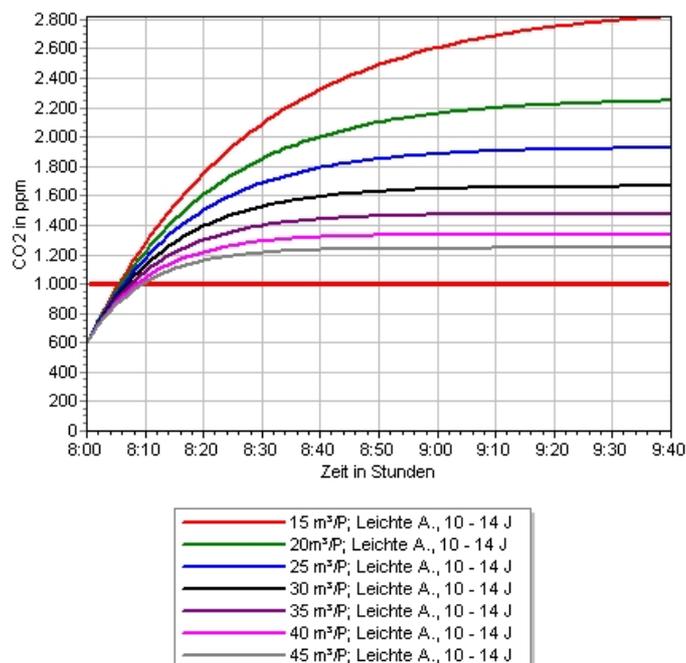


Abbildung 5.21: Beispielberechnung mit CO₂-Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, leichte Aktivität, 15 bis 45 m³/h

Resümee – Luftmengen: Um den Zielwert unter 1.000 ppm zu erreichen, benötigt es schon bei „Ruhe“ Gesamtluftmengen (Lüftungsanlage + Infiltration) von 35 m³/h. Mit 20 m³/h ergibt sich ein Wert knapp unter 1.400 ppm. Bei leichter Aktivität ergeben sich mit 35 m³/h schon CO₂-Werte um die 1.400 ppm und bei 20 m³/h 2.200 ppm. Man sieht aus dieser Variation, dass die Festlegung sowohl sehr geringer als auch sehr hoher Werte mit den entsprechenden Aktivitätsgraden begründet werden kann. Die tatsächliche Festlegung der Luftmengen bleibt daher immer ein Kompromiss.

5.2.8 Berechnung des zeitlichen Verlaufes der CO₂-Konzentration⁸

Die Berechnung des zeitlichen Verlaufes der sich im Raum einstellenden CO₂-Konzentrationen bei konstanten Verhältnissen ist in der ÖNORM EN 13779:2008 enthalten.

$$c_{IDA}(t) - c_{SUP} = +c_{IDA(0)} + \frac{q_{m,E}}{q_{v,SUP}} \times \left(1 - e^{-\frac{q_{v,SUP} \times t}{V_r}} \right) \quad (5.6)$$

$c_{IDA}^{(t)}$	Konzentration im Raum zum Zeitpunkt [mg/m ³]
c_{SUP}	Konzentration in der Zuluft [mg/m ³]
$c_{IDA(0)}$	Konzentration im Raum zu Beginn [mg/m ³]
$q_{v,SUP}$	Zuluftvolumenstrom [m ³ /s]
$q_{m,E}$	Massenstrom der Emissionen im Raum [mg/s]
V_r	Luftvolumen im Raum [m ³]
t	Zeit [s]

5.2.9 CO₂-Ausstoß durch Personen

Die Hauptursache der CO₂-Konzentration in einem Raum ist neben der Konzentration in der Außenluft die Anzahl der Personen in ihm. Der CO₂-Ausstoß von Personen ist abhängig von der Größe, vom Alter und von dem Aktivitätsgrad. Der CO₂-Ausstoß von Personen lässt sich mit einem von Ruch und Patton (1965) entwickelten Formelblock berechnen (Zapfel et al., 2006) (Gleichungen (5.7) bis (5.12)).

$$A = 0,202 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (5.7)$$

A	Körperfläche [m ²]
W	Körpergewicht [kg]
H	Körpergröße [m]

⁸ Vgl. Gössler A.: „Technische Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich“, Diplomarbeit, Pinkafeld (2007)

$$k = 0,83 * \frac{M * A}{5,617} * \frac{273 + t_R}{273} \quad (5.8)$$

k Hilfsgröße

M Metabolische Wärmeproduktionsrate einer männlichen Standardperson [W/m²]

A Körperfläche [m²]

t_R Raumtemperatur [°C]

Daraus kann man die metabolische CO₂-Rate für männliche und weibliche Kinder und erwachsene Personen errechnen.

Für eine männliche erwachsene Person gilt die Gleichung (5.9):

$$\dot{V}_{CO_2} = k \quad (5.9)$$

Für eine weibliche erwachsene Person gilt die Gleichung (5.10):

$$\dot{V}_{CO_2} = 0,9 * k \quad (5.10)$$

Für weibliche Kinder abhängig vom Alter gilt die Gleichung (5.11):

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{-1,39 * (age - 5) + 60}{46,5} * k \quad (5.11)$$

Für männliche Kinder abhängig vom Alter gilt die Gleichung (5.12):

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{-0,88(age - 5) + 61,6}{46,5} * k \quad (5.12)$$

5.2.10 Konzentration der Außenluft

Die CO₂-Konzentration der Raumlufte ist abhängig von der Außenluftkonzentration. Sie wird in der ÖNORM EN 13779:2008 folgendermaßen angesetzt:

- Land: 350 [ppm]
- Stadt: 400 [ppm]
- Stadtzentren: 450 [ppm]

Die Werte der EN 13779:2008 sind eher niedrig angesetzt. Das Umweltbundesamt misst im Rahmen eines Programms der World Meteorological Organisation (WMO) seit 1992 die Konzentration von CO₂. In 13 Jahren stieg die CO₂-Konzentration der Außenluft in Österreich von etwas unter 360 ppm auf etwa 381 ppm. Man muss außerdem beachten, dass es starke regionale und jahreszeitabhängige Schwankungen gibt. Die folgende Abbildung zeigt den kontinuierlichen Anstieg der CO₂-Konzentration in Österreich (Messung am Sonnblick).

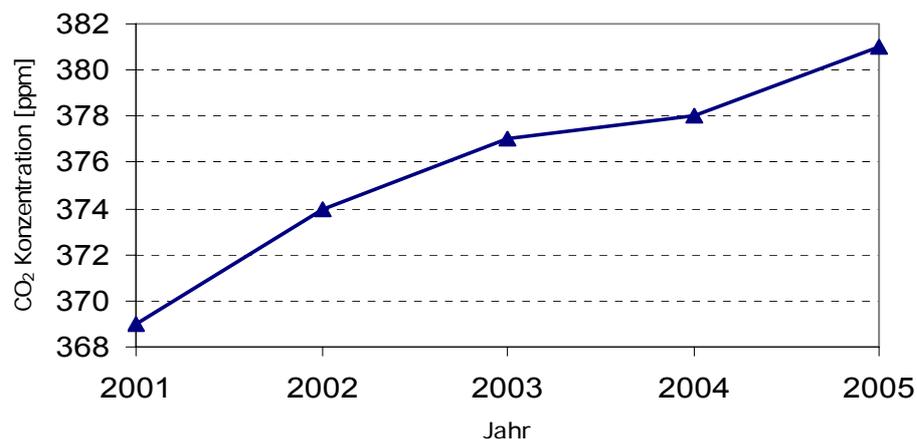


Abbildung 5.22: Jahresmittelwerte CO₂-Konzentration in Österreich (Luftgütemessungen Umweltbundesamt, Jahresbericht 2005)

D.h. nach diesen Messungen ist schon die unbelastete Bergluft mit 380 ppm anzusetzen.

5.2.11 Bestehende Regelungen für den abgeleiteten Wert „Außenluft-Volumenstrom“

In der ÖNORM EN 13779:2008 wird die Dimensionierung der benötigten Mindest-Außenluftvolumenströme aus den Vorgaben für bestimmte CO₂-Höchstkonzentrationen abgeleitet.

$$q_{v,SUP} = \frac{q_{m,E}}{c_{IDA} - c_{SUP}} \quad (5.13)$$

$q_{v,SUP}$	der Zuluftvolumenstrom [m ³ /s]
$q_{m,E}$	der Massenstrom der Emission im Raum [mg/s]
c_{IDA}	zulässige Konzentration im Raum [mg/m ³]
c_{SUP}	Konzentration in der Zuluft [mg/m ³]

In der ÖNORM EN 13779:2008 sind auch konkrete Empfehlungen für Außenluftvolumenströme je Person angegeben, wobei sich diese Außenluftvolumenströme auf erwachsene Personen mit einer Hautoberfläche von 1,8 m² beziehen und auch Emissionen aus anderen Quellen, wie Baustoffen oder Möbeln, enthalten sind.

Tabelle 5.13: Mindestwerte für Außenluftvolumenströme je Person nach ÖNORM EN 13779:2008

Kategorie	Üblicher Bereich [m ³ /h]	Standardwert [m ³ /h]
IDA 1	>54	72
IDA 2	36–54	45
IDA 3	22–36	29
IDA 4	<6	18

Vertiefende Ausführungen für die Umrechnung auf Kinder bzw. Schulklassen sind in der Norm nicht enthalten.

Das ÖISS verweist in der Schulbaurichtlinie (2007) insbesondere auf die entsprechenden Normen H 6000-3 und EN 13779 hin. In zahlreichen anderen Verordnungen, Normen und Regelwerken sind ebenfalls Empfehlungen für Außenluftvolumenströme enthalten:

- In der **EN 15251:2007** setzt sich die Außenluft rate aus der Abschwächung der Emissionen von Personen und der zusätzlichen Außenluft rate für die Gebäudeemissionen zusammen. Die Außenluft rate für Abschwächung der Emissionen von Personen:
 - Kat. I 10 [l/s/pers] bzw. 36 [m³/h/pers] für PPD 15 %
 - Kat. II 7 [l/s/pers] bzw. 25 [m³/h/pers] für PPD von 20 %

Die Außenluft rate für zusätzliche Gebäudeemissionen bei der Kategorie II:

- 0,35 [l/s,m²] (1,26 [m³/h,m²]) für sehr schadstoffarme Gebäude
- 0,70 [l/s,m²] (2,52 [m³/h,m²]) für schadstoffarme Gebäude
- 1,40 [l/s,m²] (5,05 [m³/h,m²]) für nicht schadstoffarme Gebäude

Für Klassenräume sind als Standardwert ebenfalls 2,0 m² pro Person mit einer Außenluft rate von 3,5 l/(s.m²) = 12,6 m³/(h.m²) angeführt. Dies entspricht pro Schüler 25,2 m³/h. In Kombination mit der Gebäudeemission von 0,7 l/(s.m²) für ein schadstoffarmes Gebäude ergibt sich eine Gesamtluft rate pro Schüler von 8,4 l/(s.m²), das entspricht 30,2 m³/h.

Für Kindergärten sind als Standardwert 2,0 m² pro Person mit einer Außenluft rate von 4,2 l/(s.m²) = 15,1 m³/(h.m²) angeführt. Dies entspricht pro Kind 30,2 m³/h. In Kombination mit der Gebäudeemission von 0,7 l/(s.m²) für ein schadstoffarmes Gebäude ergibt sich eine Gesamtaußenluft rate pro Kind von 9,8 l/(s.m²), das entspricht 35,3 m³/h (Achtung: Wert höher als bei Klassenräumen).

- Im **Vorschlag für die ÖNORM H 6039** (Stand 9.1.2008) sind für IDA 3 mit einer durchschnittlichen CO₂-Konzentrationserhöhung von 800 ppm folgende Außenluftmengen enthalten.
 - 6–10 Jahre 15 [m³/h]
 - 10–14 Jahre 19 [m³/h]
 - 14–19 Jahre 24 [m³/h]
 - älter 19 Jahre 27 [m³/h]
 - Lehrperson 32 [m³/h]
- Die **ÖNORM H 6000-3:1989** legt den hygienisch wünschenswerten Mindest-Außenluft-Volumenströmen unter anderem eine explizit erwähnte, zu erreichende CO₂-Konzentration von absolut 1.000 ppm zugrunde. Der Mindest-Außenluft-Volumenstrom liegt für klimatisierte Gebäude bei 20–30 m³ pro Person und Stunde bei geringer körperlicher Aktivität.
- Die **Arbeitsstättenverordnung – AstV (1998)**: Pro anwesender Person und Stunde sind mindestens 35 m³ Außenluft zuzuführen, wenn in dem Raum Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung durchgeführt werden. Diese Werte erhöhen sich auf 50 m³, wenn in dem Raum Arbeiten mit normaler körperlicher Belastung bzw. auf 70 m³, wenn in dem Raum Arbeiten mit hoher körperlicher Belastung durchgeführt werden (Arbeitsstättenverordnung 1998).
- Die **SIA 382/1:2007** sieht 25 m³/h (bei unterstützender Fensterlüftung) bzw. 30 m³/h (ohne unterstützende Fensterlüftung) ohne Altersunterscheidung vor.
- In der **ASHRAE 62** (Entwurf 1987) sind 35 m³/h empfohlen.
- Recknagel et al. 2007/2008

Tabelle 5.14: Außenluft rate pro Person (Recknagel et. al 2007/2008, Seite 1466)

Theater, Konzertsäle, Kinos, Lesesäle, Messehallen, Verkaufsräume, Museen, Turn- und Sporthallen	20 [m ³ /h Pers.]
Ruheräume, Kantinen, Gaststätten, Konferenzräume, Klassenräume, Hörsäle, Pausenräume.	30 [m ³ /h Pers.]
Einzelbüros	40 [m ³ /h Pers.]
Großraumbüros	60 [m ³ /h Pers.]

Bei keiner der angeführten Normen und Richtlinien wird zwischen Quell- und Induktionslüftung unterschieden. Siehe auch Kapitel 6 „Lüftungseffektivität“.

5.3 Schall⁹

Schall- bzw. Lärmbelastungen von Lüftungsanlagen sind ein häufiger Kritikpunkt und oft ein „willkommener“ Anlass sich gegen eine Lüftung auszusprechen. Grundsätzlich sollte eine Lüftungsanlage aber die gewünschte Luftqualität ohne störende Schallbelastung erbringen. Die Forderung, dass eine Lüftungsanlage überhaupt nicht hörbar ist, kann nur bedingt erfüllt werden, denn dann müsste sie unter dem Grundgeräuschpegel liegen. Im besetzten Klassenzimmer bei Normalbetrieb ist dies relativ einfach erreichbar. In besonderen Situationen, z.B. bei Prüfungen, in denen nur der allg. Grundgeräuschpegel herrscht, der teilweise unter 16 dB(A) liegen kann, ist dies normalerweise nicht erreichbar. Es muss daher ein Kompromiss gefunden werden. Die schalltechnischen Ansprüche werden bei den 61 Qualitätskriterien definiert. In diesem Kapitel werden nur die grundsätzlichen Auswirkungen bzw. die wichtigsten physikalischen Grundlagen erläutert.

5.3.1 Auswirkungen von Lärm

Unter Lärm versteht man jede Art von Geräusch, das ungewollt und störend auf einen Menschen einwirkt. Die Spanne der Lärmreaktionen reicht von der Lästigkeitsempfindung bis hin zur Gesundheitsschädigung.

Psychische Reaktionen können schon ab einem Schallpegel von 30 dB auftreten. (Veit, 2005) Da Lärm eine subjektive Erscheinung ist, sind viele Faktoren entscheidend ob ein Geräusch als störend empfunden wird oder nicht. Die Faktoren sind:

- Lautstärke, Schallpegel
- Frequenz, Ton
- Schwankungsstärke
- Persönliche Faktoren
- Vertraut oder unerwartet
- Dauer

Lärm in Schulen kann die mentale Leistung der Schüler beeinträchtigen. Die verminderte Sprachverständlichkeit führt zu verminderter Aufmerksamkeit und Konzentration. Unruhe kann sich ausbreiten, der Lernerfolg wird behindert und Aggressionen vermehren sich. Auf Seiten des Lehrpersonals wird die Anstrengung den Unterricht zu leiten vergrößert (Ferk et al. 2004).

⁹ Vgl. Diplomarbeit Technische Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich, Arnold Gössler (2007)

5.3.2 Schallbeurteilung – max. Schallpegel

Die Schwierigkeit der Schallbeurteilung besteht darin, dass das Schallempfinden eine subjektive Wahrnehmung ist. Daher beschränkt man sich weitgehend auf die Messung bzw. Bestimmung der objektiven Größen. Dabei werden im Wesentlichen der Schalldruckpegel (Lautstärke), das Frequenzspektrum und die zeitliche Abhängigkeit eines Geräusches berücksichtigt.

Um die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen, wird eine Frequenzbewertung der gemessenen Schalldrücke angewendet.

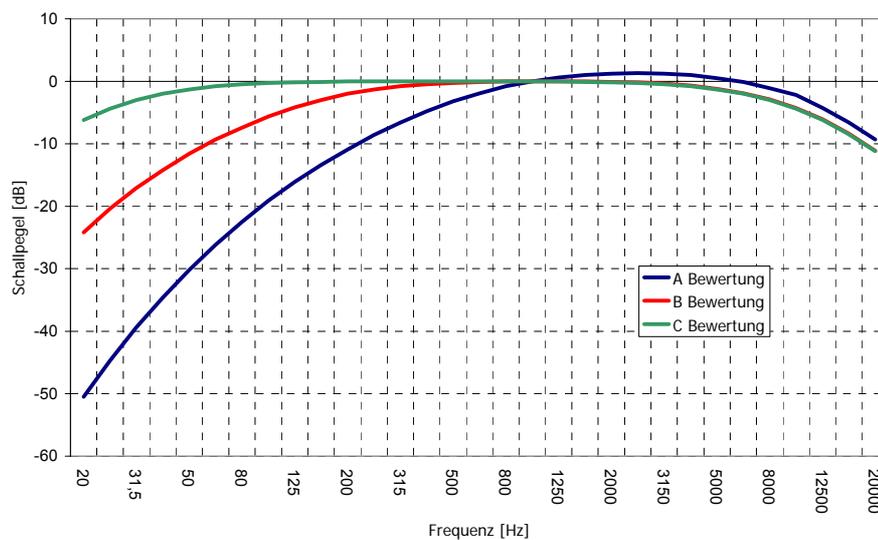


Abbildung 5.23: Abbildung 2.5: A-, B- und C-Bewertungskurven

Im Normalfall kommt fast ausschließlich die A-Bewertung zum tragen. Da die A-Bewertung die tiefen Frequenzen sehr stark (ab)wertet, kommt es immer wieder vor, dass von den Nutzern störende Geräusche wahrgenommen werden, auch wenn der Gesamtschallpegel nach A-Bewertung unter 25 dB(A) liegt.

Zur Kennzeichnung von zeitlich veränderlichen Schallereignissen kann ein Mittelungspegel oder energieäquivalenter Dauerschallpegel nach der Gleichung (5.14) berechnet werden. Der Mittelungspegel ist eine zeitliche Mittelung der Schallenergie über einen Messzeitraum.

$$L_M = 10 * \lg \left(\frac{1}{T} * \int_t^{t+T} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \quad (5.14)$$

- L_M Mittelungspegel oder L_{EQ} energieäquivalenter Dauerschallpegel in [dB]
- $L(t)$ Momentaner Schallpegel in [dB]
- t Zeitpunkt zum Beginn der Messung
- T Messzeitraum

5.3.3 Regelungen für den zulässigen Schallpegel

Die **ÖNORM 8115-2:2006** verlangt für haustechnische Anlagen grundsätzlich A-bewertete Schalldruckpegel von max. 25 dB(A), bezogen auf eine Nachhallzeit von 0,5 s für gleichbleibende oder intermittierende Geräusche in Bereichen mit längerem Aufenthalt von Menschen. Ausdrücklich gilt die Norm auch für Schulen. Die Norm nimmt aber auch die der jeweiligen Nutzungseinheit ausschließlich zugeordneten haustechnischen Anlagen von diesen Forderungen aus. Genau genommen gilt die Anforderung daher nur für zentrale Anlagen, da eine dezentrale Anlage direkt der Nutzungseinheit bzw. dem Klassenzimmer zuzuordnen ist. Zusätzlich darf der C-bewertete Schallpegel nicht mehr als 20 dB über dem Grenzwert für den A-bewerteten Schallpegel liegen.

Nach der **ÖNORM EN 13779:2008** liegt der empfohlene Bereich des maximalen A-bewerteten Schalldruckpegels von Lüftungsanlagen für Schul- und Kindererziehungseinrichtungen zwischen 35 und 45 dB(A).

Der **Vorschlag der ÖNORM H 6039** (Stand 9.1.2008) orientiert sich an der EN 13779 und legt für Klassenzimmer max. 35 dB(A) und für Musikzimmer 30 dB(A) fest.

In der **Schulbaurichtlinie des ÖISS (2007)** sind folgende Anforderungen an den Schallpegel bei mechanischen Lüftungsanlagen enthalten:

- Das Betriebsgeräusch von mechanischen Be- und Entlüftungsanlagen in Unterrichts- und Arbeitsräumen darf einen maximalen Dauerschallpegel von 30 dB(A), bzw. 35 dB(A) in der Nähe der Auslässe nicht überschreiten.
- Für akustisch sensible Räume wie z.B. Musikunterrichtsräume wird empfohlen, einen maximalen Dauerschallpegel von 25 dB(A), bzw. 30 dB(A) in der Nähe der Auslässe nicht zu überschreiten.

5.3.4 Nachhallzeit

Wird eine Schallquelle in einem Raum aktiviert, dann treffen die Schallwellen nach einer gewissen Zeit auf Begrenzungsflächen und werden dort zum Teil reflektiert und zum Teil absorbiert. Die reflektierten Schallwellen treffen nach einer gewissen Zeit wieder auf Begrenzungsflächen, wo sich dieser Vorgang mit Reflektion und Absorption wiederholt. Da dem Raum ständig neue Schallenergie zugeführt wird, bildet sich im Raum ein diffuses Schallfeld aus den reflektierten Schallwellen. Somit besteht das Schallfeld in einem Raum aus einem direkten und einem diffusen Anteil. Das direkte Schallfeld nimmt mit der Verdoppelung der Entfernung um 6 dB ab. Das diffuse Schallfeld hingegen ist entfernungsunabhängig und nimmt mit der Verdopplung der äquivalenten Absorptionsfläche um 3 dB ab. Eine Schallpegelsenkung ist somit mit einer Vergrößerung der äquivalenten Absorptionsfläche möglich. Nach dem Aufhören einer akustischen Erregung in einem Raum verstummt das Geräusch nicht schlagartig, sondern wird – abhängig von den absorbierenden Eigenschaften der Begrenzungsflächen – nach einer exponentiellen Funktion abklingen. Die Zeit, in der die Schallenergie um 60 dB (den 10^{-6} -ten Teil) abklingt, wird Nachhallzeit bezeichnet. Die Nachhallzeit charakterisiert die absorbierenden Eigenschaften eines Raumes (Veit, 2005).

Die Nachhallzeit kann gemessen oder nach der Sabinschen Formel (5.15) berechnet werden:

$$T = 0,16 * \frac{V}{\alpha * S} = 0,16 * \frac{V}{\sum_n \alpha_n * S_n} \quad (5.15)$$

T	Nachhallzeit in [s]
V	Raumvolumen in [m ³]
α	Schallabsorptionsgrad
S	Teilflächen in [m ²]

Die Nachhallzeit ist außerdem ein Maß für die Raumakustik. In Räumen für Sprache, wie z.B. Klassenzimmer, ist es außerordentlich wichtig, dass die Nachhallzeit nicht zu lang ist. Eine kurze Nachhallzeit bedeutet, dass die Sprachverständlichkeit gut ist.

Empfohlene Nachhallzeiten nach ÖNORM B 8115-3 (2005)

Die Nachhallzeit (T) für Klassenräume bzw. für Kommunikation im besetzten Zustand, berechnet nach ÖNORM EN 12354-6:2004, sollte nach B 8115-3:2005 folgende Werte erreichen:

- $T = 0,32 \lg. V - 0,17$
- Für Klassenzimmer mit Fremdsprachenunterricht sollte dieser Wert um 20 % abgesenkt werden.

- Insbesondere im Sprachfrequenzbereich, zwischen 250 Hz und 2.000 Hz, soll dieser Wert nicht überschritten werden.

In der Schulbaurichtlinie des ÖISS (2007) sind folgende Anforderungen an die Nachhallzeit enthalten:

Für Räume mit sprachlicher und audiovisueller Nutzung sind möglichst kurze Nachhallzeiten anzustreben. Die Nachhallzeiten T_{soll} für den Bereich der Oktaven von 250 Hz bis 2.000 Hz sind in der folgenden Tabelle in Abhängigkeit vom Raumvolumen dargestellt; sie gelten für die volle Besetzung der Räume.

Tabelle 5.15: Nachhallzeiten nach ÖISS T_{soll} (in s) Abhängigkeit vom Raumvolumen

Raumvolumen V [m³]	30	50	100	150	300	500	1000
Räume für Kommunikation z.B. Unterrichtsräume, Medienräume, Besprechungsräume, Räume für audiovisuelle Darbietung	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
Räume für Sprache z.B. Hörsäle, Vortragsräume	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Der Sollwert der Nachhallzeit, abhängig von der Nutzung und dem Volumen des Raumes, ermittelt sich wie folgt: Unterricht, Kommunikation: $T_{\text{soll}} = 0,32 \cdot \lg V - 0,17$ Sprache, Vortrag: $T_{\text{soll}} = 0,37 \cdot \lg V - 0,14$ Musik: $T_{\text{soll}} = 0,45 \cdot \lg V - 0,07$ Sport- oder Schwimmhallen ohne Publikum für nur eine Unterrichtsklasse $T_{\text{soll}} = 1,27 \cdot \lg V - 2,49$ Sport- oder Schwimmhallen ohne Publikum für mehrere Unterrichtsklassen und unterschiedlichen Kommunikationsinhalt $T_{\text{soll}} = 0,95 \cdot \lg V - 1,74$							

- Die Toleranzbereiche für die Nachhallzeiten T/T_{soll} sind in der ÖNORM B 8115-3:2005 in Abhängigkeit von der Frequenz geregelt und liegen im Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2.000 Hz zwischen $0,8 \times T_{\text{soll}}$ und $1,2 \times T_{\text{soll}}$, wobei eine möglichst gleichmäßige Nachhallzeit über alle Frequenzen anzustreben ist.
- Ohne Personen im Raum sollte die Nachhallzeit nicht mehr als 0,2 Sekunden über dem Sollwert liegen.
- Als Richtwert für die optimale Nachhallzeit eines gängigen Unterrichtsraumes mit ca. 63 m^2 bis 70 m^2 und $3,20 \text{ m}$ Raumhöhe gilt $0,58 \text{ s}$.
- Musikprobenräume mit einem Volumen von 30 m^3 bis 40 m^3 sollten aus Gründen der Pegelminderung eine Nachhallzeit von $0,3$ bis $0,4 \text{ s}$ aufweisen.
- Für mittlere Probenräume mit einem Volumen zwischen 50 m^3 und 200 m^3 werden Nachhallzeiten von $0,4$ bis $0,8 \text{ s}$
- für größere Räume bis 1.000 m^3 Nachhallzeiten von $0,7$ bis $1,0 \text{ s}$ empfohlen.
- Im Bereich von Erschließungs- und Pausenbereichen soll die Nachhallzeit zwischen $1,0$ bis $1,5 \text{ s}$ liegen.

6 Grundlagen – Klassenzimmerlüftungsanlagen

Um auch LeserInnen, die sich noch nicht so intensiv mit dem Thema Lüftung bzw. Klassenzimmerlüftung auseinandergesetzt haben, einen allgemeinen Überblick zu verschaffen, sind in diesem Kapitel die wichtigsten Aspekte zum Thema Lüftung und Lüftungsanlagen zusammengefasst.

Konkrete Themen des Kapitels sind:

1. Fachbegriffe zum Thema Klassenzimmerlüftung
2. Lüftungssysteme
3. Zentral – Semizentral – Dezentral
4. Lüftungsprinzipien
5. Arten der Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung
6. Filter
7. Ventilatoren
8. Energetische Kennwerte bei Lüftungsanlagen
9. Möglichkeiten der Einsparung elektrischer Energie bei Lüftungsanlagen

6.1 Fachbegriffe zum Thema Klassenzimmerlüftung

6.1.1 Klassifizierung der Luftarten nach ÖNORM EN 13779:2008

Die Luftarten in einem Gebäude und in einer Lüftungs- oder Klimaanlage sind nach DIN EN 13779:2008 wie folgt festgelegt:

Tabelle 6.1: Luftarten nach Tabelle 2 ÖNORM EN 13799:2008 Teil 1

Nr.	Luftart	Abkürzung	Farbe	Definition
1	Außenluft	ODA	Grün	Unbehandelte Luft, die von außen in die Anlage oder in eine Öffnung einströmt
2	Zuluft	SUP	Blau	Luftstrom, der in den behandelten Raum eingtritt oder Luft, die in die Anlage eintritt, nachdem sie behandelt wurde
3	Raumluft	IDA	Grau	Luft im behandelten Raum oder Bereich
4	Überströmluft	TRA	Grau	Raumluft, die vom behandelten Raum in einen anderen behandelten Bereich strömt
5	Abluft	ETA	Gelb	Luftstrom, der den behandelten Raum verlässt
6	Umluft	RCA	Orange	Abluft, die der Luftbehandlungsanlage wieder zugeführt wird und als Zuluft wiederverwertet wird
7	Fortluft	EHA	Braun	Luftstrom, der ins Freie strömt
8	Sekundärluft	SEC	Orange	Luftstrom, der einem Raum entnommen und nach Behandlung demselben Raum wieder zugeführt wird

6.1.2 Aufenthaltsbereich nach ÖNORM EN 13779:2008

Die Anforderungen an das Raumklima sind im Aufenthaltsbereich zu erfüllen. Dies bedeutet, dass alle Angaben und Messungen, die die Behaglichkeitskriterien betreffen, auf diesen Bereich zu beziehen sind. Um diese Anforderungen zu bewerten, kann zwar der gesamte Raum zu Grunde gelegt werden, die Behaglichkeitskriterien sind jedoch jenseits des Aufenthaltsbereiches nicht sichergestellt.

Übliche Maße zur Definition des Aufenthaltsbereiches sind in nachstehender Tabelle angegeben und dargestellt.

Tabelle 6.3: Maße zur Definition des Aufenthaltsbereiches lt. ÖNORM EN 13779:2008

Abstand von der folgenden Innenfläche		Üblicher Bereich (m)	Standardwert (m)
Fußboden (untere Begrenzung)	A	0,00 bis 0,20	0,05
Fußboden (obere Begrenzung)	B	1,30 bis 2,00	1,80
Außenfenster und -türen	C	0,50 bis 1,50	1,00
Heiz- und/oder Klima-Geräte	D	0,50 bis 1,50	1,00
Außenwand	E	0,15 bis 0,75	0,50
Innenwand	F	0,15 bis 0,75	0,50
Türen, Durchgangsbereiche usw.	G	besondere Vereinbarung	-

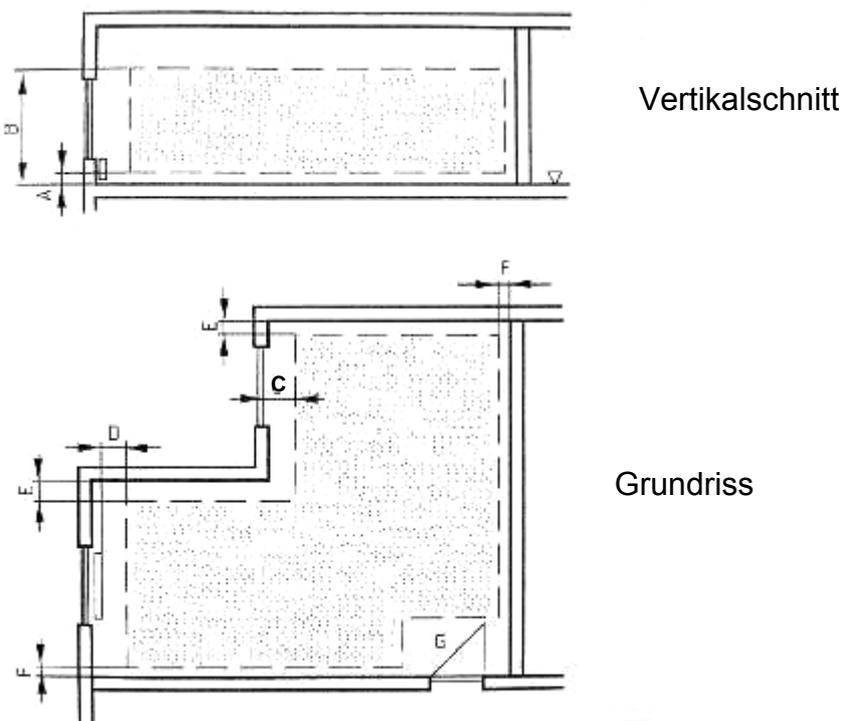


Abbildung 6.2: Darstellung des Aufenthaltsbereiches lt. ÖNORM EN 13779:2008

Wenn Außenwände mit Fenster zu berücksichtigen sind, gilt für die gesamte Oberfläche das Bauteil mit dem größten Abstand.

Es sollte darauf geachtet werden, dass es in Räumen mit niedrigen Decken (Raumhöhe unter 2,5 m) schwierig sein kann, die Anforderung bezüglich einer oberen Begrenzung von 2,0 m zu erfüllen.

In den nachfolgend genannten Bereichsarten sollten besondere Vereinbarungen getroffen werden, da es auch dort schwierig sein könnte, die Anforderungen an das Raumklima – besonders im Hinblick auf Zugerscheinungen und Temperatur – zu erfüllen:

- a) Durchgangsbereiche
- b) Bereiche in der Nähe von Türen, die oft benutzt werden oder offen stehen
- c) Bereiche in der Nähe von Zuluftdurchlässen
- d) Bereiche in der Nähe von Einrichtungen mit hoher Wärmelast oder hohem Luftvolumenstrom

Wenn nicht anders vereinbart, gehören die Bereiche unter a) und b) nicht zum Aufenthaltsbereich; die Bereiche c) und d) werden jedoch als Teil des Aufenthaltsbereiches betrachtet.

Wenn für die Nutzung eines Raumes nicht die Raummaße, sondern andere Faktoren maßgebend sind, kann der Aufenthaltsbereich nach den festgelegten Arbeitsbereichen und den darin befindlichen Einrichtungen oder nach der Lage des Atmungsgebietes definiert werden.

6.2 Lüftungssysteme

Um Menschen in Innenräumen eine gesunde Luft zur Verfügung zu stellen und etwaige Bauschäden zu verhindern, ist ein kontinuierlicher Luftaustausch mit frischer Luft notwendig. Grundsätzlich kann eine Lüftung in „Natürliche Lüftung“ und „Mechanische Lüftung“ unterteilt werden.

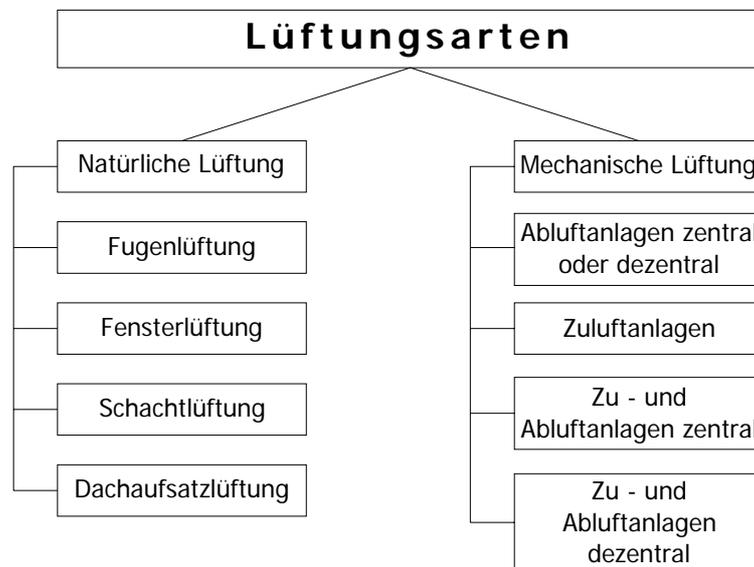


Abbildung 6.3: Einteilung der Lüftungsarten (vgl. Recknagel et al. 2007/2008)

6.2.1 Natürliche Lüftung

Als natürliche Lüftung oder freie Lüftung bezeichnet man jenen Luftaustausch der aufgrund von natürlichen Druckunterschieden oder Temperaturunterschieden entsteht. Wie aus Kapitel 4 ersichtlich, lassen sich die gewünschten Raumluftqualitäten und Behaglichkeitswerte mit natürlicher Fugen- und Fensterlüftung nicht erzielen.

6.2.2 Mechanische Lüftung

Für eine gute Raumluftqualität in den Klassenräumen und zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs ist eine Klassenlüftung mit hoher Wärmerückgewinnung, energieeffizienten Ventilatoren und optimierter Lüftungsregelung ein unersetzlicher Bestandteil. Daher wird im Weiteren ausschließlich auf Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung näher eingegangen. Anlagen ohne Wärmerückgewinnung bzw. mit unkontrollierter Zu- oder Abluft werden aus energetischen, hygienischen und/oder Komfortbedingungen nicht empfohlen bzw. sind teilweise aus gesetzlichen Vorgaben (RL 6 – Austausch und Neueinbau von Zu- und Abluftanlagen ausschließlich mit Wärmerückgewinnung) nicht erlaubt.

Im Wesentlichen ergeben sich 3 grundsätzliche Möglichkeiten für Lüftungskonzepte:

1. Klassenzimmerlüftung über **zentrale Lüftungsanlage** für das gesamte Gebäude oder für Gebäudeabschnitte
2. Klassenzimmerlüftung über **semizentrale Lüftungsanlage** für das gesamte Gebäude oder für Gebäudeabschnitte
3. Klassenzimmerlüftung über **dezentrale Lüftungsanlagen** in jedem einzelnen Klassenzimmer

Die Wahl des passenden Lüftungskonzeptes ergibt sich aus vielen Parametern, die bei jedem Projekt getrennt zu bewerten sind. Neben den allgemeinen Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Lösungen in diesem Kapitel sind im Planungsleitfaden die entscheidenden Parameter dargestellt, welche die Auswahl des passenden Lüftungskonzeptes erleichtern.

6.3 Zentral – Semizentral – Dezentral

6.3.1 Zentrale Lüftungsanlage

Funktionsweise: Ausgehend von einer zentralen Außenluftansaugung an geeigneter Stelle wird die Außenluft in einen zentralen Technikraum geführt. Das zentrale Lüftungsgerät filtert, erwärmt, (befeuchtet, kühlt), die Zuluft auf das im Nutzungsprofil geforderte Niveau. Die so aufbereitete Zuluft wird im Gebäude über Luftleitungen verteilt und den Zuluftträumen (Klassenzimmer, Aufenthaltsräume...) zugeführt. Die verbrauchte Luft der Klassenzimmer wird entweder direkt aus dem Raum abgeführt oder über Überströmöffnungen in Gang- bzw. Aufenthaltsbereiche geführt die geringere Luftqualitätsanforderungen aufweisen. Von dort gelangen sie direkt oder über die Ablufträume, üblicherweise die Atrien bzw. Sanitärräume, in den Abluftstrang, der die verbrauchte Luft wieder dem zentralen Lüftungsgerät zuführt. Über die Wärmerück- bzw. ggf. einer Feuchterückgewinnung des zentralen Lüftungsgerätes wird der Zuluft die in der Abluft vorhandene Energie bzw. die vorhandene Feuchte zugeführt. Die abgekühlte und ggf. entfeuchtete Luft wird an geeigneter Stelle ins Freie geführt. Eine direkte Ablufführung aus der Klasse, ohne Einbeziehung von Atrium, Sanitärräumen, etc., bedingt einen höheren Luftleitungsaufwand, insgesamt höhere Luftmengen und zusätzliche Lüftungsanlagen für diese Bereiche – zumindest für die Sanitärräume.

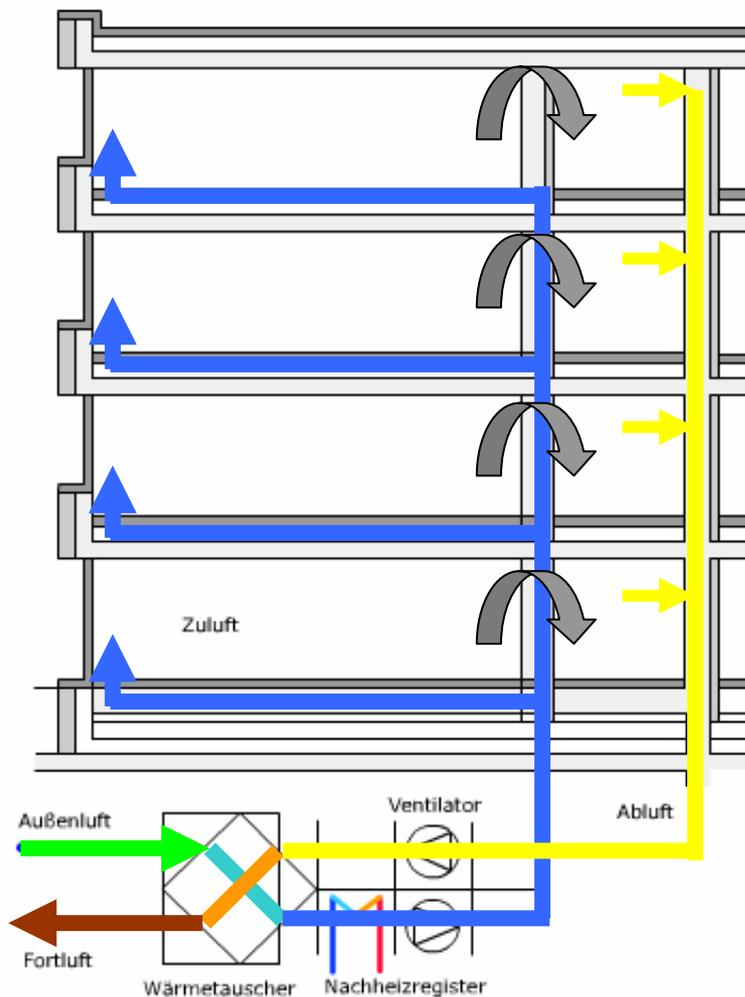


Abbildung 6.4: Schematische Darstellung einer zentralen Lüftungsanlage (www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)

Bewertung zentrale Lüftungsanlage¹⁰:

Lufttransport/Verteilsystem

- + Luftansaugung gut positionierbar, unabhängig von Fassadenausrichtungen
- + Eingriff in die Fassade nicht unbedingt erforderlich; ausschließlich eine Zu- und eine Abluftöffnung notwendig
- + Unproblematischer Witterungsschutz von Ansaug- und Fortluftöffnung
- + Schallschutz vor Außenlärm leicht realisierbar

¹⁰ Vgl. www.rlt-geraete.de, Stand Jänner 2008

- + Einfache Einbindungsmöglichkeit eines zentralen Luft- oder Sole-Erdwärmetauschers → Anhebung der Außenlufttemperatur und Energieeinsparungen im Winter, Senkung der Außenlufttemperatur im Sommer (kein Wärmeeintrag über Lüftung)
- + Gang-/Erschließungsflächen werden automatisch mitbelüftet, wenn nicht direkt aus der Klasse abgesaugt wird sondern mit Überströmbereichen gearbeitet wird
- Baulicher Aufwand hoch (Zusätzlicher Platzbedarf für Lüftungszentrale und Verteilnetz)
- Verzweigtes Verteilsystem, komplexe Druckverhältnisse im Rohrsystem, aufwändige Planung und Einregulierung
- Hoher Flächenbedarf des Verteilsystems, vor allem bei großen Luftmengen
- Schwierige Luftverteilung im Bestand
- Höhere Anforderung beim Brandschutz bei Durchquerung mehrerer Brandabschnitte
- hoher Planungs-, Abstimmungs- und Ausführungsaufwand zur Integration der Lüftung vor allem im Bestand.

Luftkonditionierung

- + Nichtelektrische Nachheizung der Zuluft auf Raumtemperatur problemlos möglich; dadurch geringeres Risiko von Kälteempfinden durch zu kühle Zuluft im Aufenthaltsbereich
- + Zu- und Abluftfilterung auch mit höheren Filterklassen uneingeschränkt möglich
- + Wärmeausgleich zwischen wärmeren (z.B. Klassenzimmer) und kühleren (z.B. Gangbereiche) Zonen durch die zentrale Abluft und die Überströmung
- + Vollklimatisierung möglich (wenn auch nicht empfohlen)
- + Einsatzmöglichkeit einer zentralen Befeuchtung und damit jederzeitige Sicherstellung bestimmter Raumluftfeuchten
- Risiko der Geruchsübertragung bei zentraler Abluft (frühzeitige Abklärung diesbezüglich nötig, geringere Flexibilität hinsichtlich Nutzungsänderungen im Betrieb)

Energetische Kriterien

- + Energieaufwand für die Bereitstellung der Luft auf Raumtemperaturniveau aufgrund des Einsatzes der Wärmerückgewinnung, einer möglichen Erdvorbereitung und eines zentralen Nachheiz-/Kühlregisters, sowie der frei wählbaren Ansaugdurchlässe gering

- + Verteilverluste gering bei ausschließlicher Konditionierung auf Raumtemperaturniveau
- Höherer Druckverlust des Verteilsystems aufgrund großer Leitungslängen, Formstücken, sowie div. Einbauten (Drosseleinrichtungen, Nachheizregister, Brandschutzklappen, ...)
- Höherer Stromverbrauch durch höheren Druckverlust
- Wirkungsgrad der Ventilatoren/Antriebe sehr von Bauart abhängig; prinzipiell sind Ventilatorsysteme mit hoher Effizienz einsetzbar (Direktantrieb mit EC-Motoren); in der Praxis wird aber oft gerade bei zentralen Anlagen noch zu wenig auf die Stromeffizienz der Ventilatorsysteme geachtet
- Wird die zentrale Lüftungsanlage auch zur Nachtlüftung (Kühlung) eingesetzt, so wird der Kühleffekt für die Klassenräume durch die Transmissionsverluste des langen Zuluftleitungsnetzes eingeschränkt.

Nutzung und Regelungsaufwand

- + Zentrale Steuerung der gesamten Anlage leicht möglich (Einfaches Ein- und Ausschalten der gesamten Anlage, Betriebszeiten, Nachtlüftung, usw.)
- + Durch Rauchsensor bzw. Koppelung der Anlage mit der Brandmeldeanlage einfaches Abschalten der Anlage möglich
- + Aufwand für Einbindung in Energiemanagement gering
- Aufwändige individuelle Raumregelung der zentralen Lüftung oder sehr eingeschränkte raumspezifische Regelungsmöglichkeiten; meist nur zonenweise Steuerung (u. a. Sollwertvorgaben) möglich, da aufgrund Kaskadenluftführung (Zuluftbereich Klassenzimmer, Überströmbereich Gang, Abluftbereich Sanitärbereiche) mehrere Räume beeinflusst werden; eine individuelle raumweise Steuerung für alle Bereiche ist nur mit hohem Aufwand möglich; dazu sind erforderlich:
 - o Zu- und Abluft in jedem Raum
 - o Steuereinrichtungen in den Zu- und Abluftsträngen
 - o Fühler wie CO₂- und Anwesenheitssensor bzw. Steuergeräte (Schalter) in den jeweiligen Räumen
 - o Regelungsaufwendung um die Nutzeranforderungen einzubinden (Nutzervorrang)
- Geringe Nutzerakzeptanz, wenn der Nutzer keine Eingriffsmöglichkeiten in das System hat (z.B. keine oder nur eingeschränkte Möglichkeit die Fenster zu öffnen; keine Möglichkeit die Lüftung auszuschalten usw.)
- Bei Erweiterung des Rohrnetzes neue Einregulierung erforderlich

Wartung und Betrieb

- + geringer Aufwand bei Wartung und Instandhaltung aufgrund des zentralen Technikraumes (Filterwartung, usw.)
- + Zugänglichkeit durch den zentralen Technikraum leicht möglich
- + Funktionskontrolle durch Aufschaltung auf zentrale Leittechnik leicht möglich
- Höherer Aufwand für Brandschutz aufgrund Durchdringung von Brandabschnitten
- Anlagensicherheit gering, da bei Ausfall gesamtes Gebäude/Zone betroffen ist; besonders problematisch bei Konzepten, in denen Heiz- bzw. Kühlenergie über die Lüftung eingebracht wird
- Aufwändige Reinigung (Rohrreinigung)

Medienversorgung

- + Versorgung mit Heiz-/Kühlenergie durch zentrales Heiz-/Kühlregister einfach möglich
- + Kondensatabfuhr leicht realisierbar, da zentral im Technikraum
- + Stromzufuhr und Steuerleitungen für das Lüftungsgerät durch zentralen Technikraum leicht realisierbar
- + Autarke Wärmeerzeugung leicht möglich
- Bei Heiz- und Kühlfunktion der Lüftungsanlage große Verteilverluste durch große Oberflächen der Lüftungsleitungen

Hygiene

- + Hochwertige Filtertechnik leicht einsetzbar (mehrstufig, große Filterflächen usw.)
- + Hohe Filterstandzeit aufgrund großer Filterfläche möglich
- + Luftqualität durch frei wählbare Ansaugung hoch
- + Luftkurzschluss zwischen Außen- und Fortluft, aufgrund frei wählbarer Luftdurchlässe einfach verhinderbar
- + Verschmutzung des Verteilsystems durch hochwertige Filterung und bei regelmäßiger Wartung gering
- + Durchfeuchtung der Außenluftfilter konstruktiv leichter auszuschließen
- Rohrreinigungen aufwändig

6.3.2 Semizentrale bzw. kombinierte Lüftungsanlage

Funktionsweise: Ausgehend von einer zentralen Ansaugung an geeigneter Stelle wird die Außenluft in einen zentralen Technikraum geführt. In diesem Technikraum wird die Außenluft gefiltert und durch Wärme- und gegebenenfalls Feuchterückgewinnung, aktive Befeuchtung und Kühlung aufbereitet. Die so aufbereitete Zuluft wird im Gebäude verteilt und den einzelnen Zonen (stockwerksweise od. bereichsweise) zugeführt, wobei die Ventilatoren des zentralen Lüftungsgerätes ausschließlich einen Druckausgleich im Verteilsystem realisieren (Regelung auf 0 Pascal Differenzdruck zur Umgebung im Hauptstrang bzw. Steigstrang). In diesen Zonen befinden sich weitere dezentrale Geräteeinheiten, welche die Zuluft auf den in dieser Zone benötigten Luftzustand konditionieren (z.B. Nachheiz-/Nachkühlregister, Stützventilatoren zur bedarfsorientierten Luftversorgung, usw.) Die verbrauchte Luft des Bereichs wird innerhalb der Zone über die dezentralen Geräte dem Abluftstrang zugeführt, der die verbrauchte Luft wieder zum zentralen Lüftungsgerät bringt. Über die Wärme- bzw. gegebenenfalls Feuchterückgewinnung des zentralen Lüftungsgerätes wird der Zuluft die in der Abluft vorhandene Energie bzw. Feuchte zugeführt. Die abgekühlte und gegebenenfalls entfeuchtete Luft wird an geeigneter Stelle ins Freie geführt.

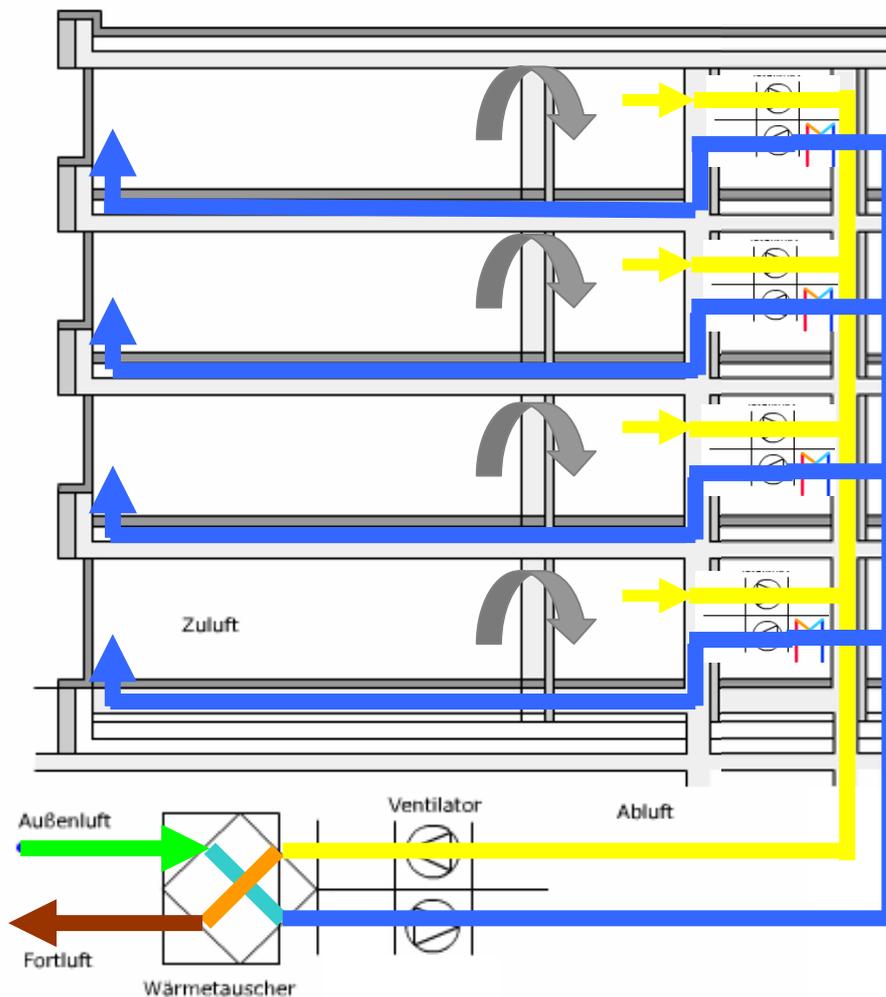


Abbildung 6.5: Schematische Darstellung einer semizentralen Lüftungsanlage (www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)

Abwandlungen dieses Prinzips mehr in Richtung zentrale Anlage (wenn z.B. die dezentralen Nachbehandlungseinheiten keinen Ventilator mehr beinhalten) oder mehr in Richtung dezentrale Anlage (wenn z.B. auf eine zentrale Luftaufbereitung verzichtet wird und die Geschosse oder größere Zonen von einzelnen Lüftungsgeräten versorgt werden) sind möglich und immer von den jeweiligen Randbedingungen abhängig. Dementsprechend ändern sich auch die Vor- und Nachteile.

6.3.3 Dezentrale Lüftungsanlage

Funktionsweise: Ausgehend von einer dezentralen Ansaugung an geeigneter Stelle wird die Außenluft zum dezentralen Lüftungsgerät geführt, das sich entweder innerhalb oder außerhalb des zu lüftenden Raums befindet. Im Lüftungsgerät wird die Zuluft gefiltert und durch Wärme- und gegebenenfalls Feuchterückgewinnung aufbereitet. Die Zuluft wird auf die benötigten Nutzeranforderungen angepasst (z.B. Nachheiz-/Nachkühlregister, usw.) und im Raum verteilt. Die Abluft wird im Regelfall im gleichen Raum an geeigneter Stelle abgesaugt und dem dezentralen Lüftungsgerät zugeführt. Die abgekühlte und gegebenenfalls entfeuchtete Abluft wird an geeigneter Stelle ins Freie geführt. Gang und WC-Anlagen werden meist aus Brandschutzgründen oder aus Furcht vor Geruchsübertragung nicht in die Luftführung mitintegriert. Bei angrenzenden Ablufträumen ist die Einbindung dieser Räume aber durchaus sinnvoll und machbar, um separate Abluftanlagen einzusparen.

Abwandlungen dieses Prinzips mehr in Richtung semizentrale Anlage sind möglich, und immer von den jeweiligen Randbedingungen abhängig; z.B. die dezentralen Lüftungsgeräte versorgen einen Raumverbund (KiGa Lustenau: Versorgung: Gruppenraum, Garderobe, WC; Anschluss des Gerätes an gemeinsamen EWT).

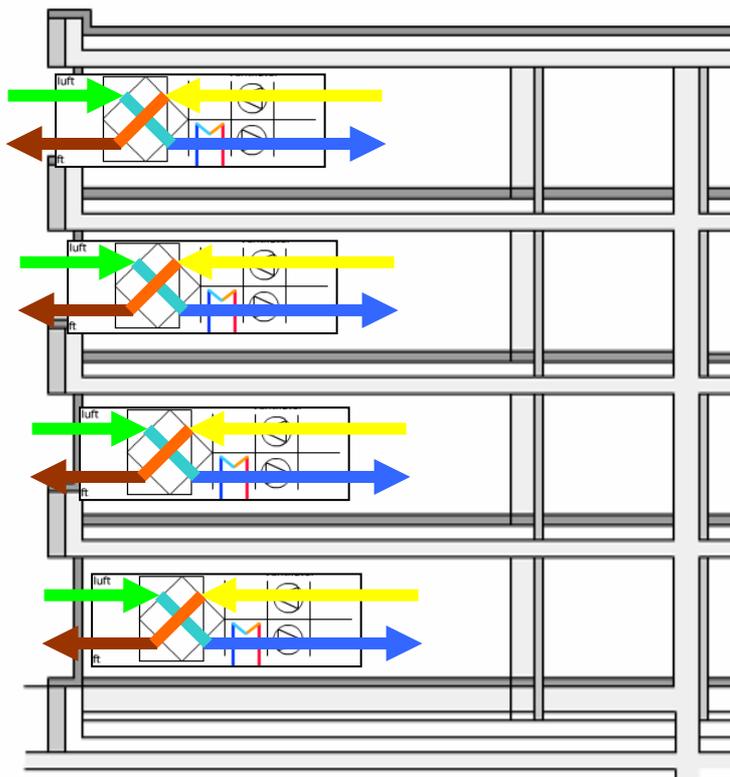


Abbildung 6.6: Schematische Darstellung einer dezentralen Lüftungsanlage (www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)

Häufige Varianten dezentraler Lüftungsanlagen:

- Lüftungsgerät in der Klasse mit Zuluft- und Abluftdurchlass direkt am Gerät
- Lüftungsgerät in der Klasse mit Zuluftverteilung oder Abluftleitungen in der Klasse
- Lüftungsgerät außerhalb der Klasse

Bewertung dezentrale Lüftungsanlage¹¹:

Lufttransport/Verteilsystem

- + Einfache Integration der Lüftung auch im Bestand
- + Baulicher Aufwand gering; Eingriff in das Bauwerk hauptsächlich nur bei den Wanddurchbrüchen
- + Flächenbedarf der Anlagen gering, wenn Deckengeräte und genügend Raumhöhe verfügbar sind
- + Kein oder nur minimales Verteilsystem
- + Einfache Druckverhältnisse durch kurzes Verteilsystem
- + einfache Realisierung variabler Luftmengen aufgrund dezentraler Ventilatoren in den Lüftungsgeräten
- + Meist ist die Unterbringung des Systems in einem Brandabschnitt möglich; daher keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz (außer möglicherweise bei Luftdurchlässen an Fassaden)
- Bei Unterbringung des Systems in einem Raum ist die Luftansaugung abhängig von der Fassadenausrichtung; daher keine Rücksichtnahme auf Außenluftverhältnisse möglich (z.B. stark befahrene Strasse, Südseite, usw.)
- Eingriffe in die Fassade notwendig; eine Zu- und eine Abluftöffnung pro Lüftungsgerät ist erforderlich
- Wetterschutz von Außenluft- und Fortluftdurchlässen bei windzugewandten Fassaden verursacht zum Teil beträchtliche Probleme durch Niederschlags-eintrag oder Vereisung; oftmals schwierig zu warten bzw. zu reinigen, da schlecht zugänglich
- Schall-, Wärme- und Feuchteschutz der Außenwanddurchlässe erfordert durchdachte Konstruktionen
- Schalldämmung des Gerätes aufwändig; → geringe Schallemissionen des Gerätes, angepasste Schalldämpfer
- Dezentrale Einbindungsmöglichkeit eines Erdwärmetauschers aufwändig (Sole-Luft-Wärmetauscher)
- Einbindung von Gang-/Erschließungsflächen nicht immer möglich

¹¹ Vgl. www.rlt-geraete.de, Stand Jänner 2008

Luftkonditionierung

- Aufgrund der dezentralen Versorgung der Lüftungsgeräte sind individuelle Heiz-/Kühlanforderungen möglich
- Einsatzmöglichkeit von dezentralen Befeuchtungsmodulen aufgrund des geringen Marktangebotes für Kleinanlagen schwierig; damit Sicherstellung bestimmter Raumluftfeuchten nur über Feuchterückgewinnung, anlagenunabhängige Raumluftbefeuchter bzw. Drosselung der Luftmengen bei gleichzeitiger Akzeptanz des CO₂-Wert-Anstieges möglich
- Nachheizung der Zuluft auf Raumtemperatur schwerer möglich (Einsatz von dezentralen Nachheizregistern)
- Wärmeausgleich zwischen wärmeren (z.B. Klassenzimmer) und kühleren Zonen (z.B. Gangbereiche) bei fehlender Einbindung eingeschränkt

Energetische Kriterien

- + geringer Druckverlust aufgrund kleinem bzw. nicht vorhandenem Verteilsystem
- + Verteilverluste generell gering, wenn sich die Geräte bzw. Heiz-/Kühlregister nahe bzw. im belüfteten Raum befinden
- ± prinzipiell Energieverbrauch höher aufgrund mehrerer bzw. kleinerer Ventilatoren. In der Praxis erweisen sich aber gerade dezentrale Anlagen aufgrund der besseren Motor/Ventilator-Einheiten (EC-Motoren, Direktantrieb), des geringeren Druckverlustes und des geringeren Hilfsstrombedarfs als energieeffizienter (kein Steuerenergiebedarf für Klappen, Sensoren, usw.); zusätzliche Vorteile beim Energieverbrauch gegenüber zentralen Anlagen ergeben sich dann, wenn stark unterschiedliche Nutzer- bzw. Raumanforderungen vorliegen (in Bezug auf Luftmengen, Temperatur, Feuchte, usw.)

Nutzung und Regelungsaufwand

- + Individuelle Raumregelung/-steuerung einfach realisierbar (ein/aus, Anwesenheit, Luftmenge zeitgesteuert oder über CO₂-Sensor, eventuell Nachheizung/Nachkühlung)
- + Abrechnung bzw. Verbraucherzuordnung möglich
- + Erweiterungsmöglichkeiten aufgrund des dezentralem Prinzips leicht möglich
- Zentrale Steuerung der gesamten Anlage nur über gemeinsamen Stromkreis realisierbar
- Aufwand für Einbindung in Energiemanagement höher
- Nutzung des Systems zur Entrauchung nicht möglich

Wartung und Betrieb

- + Geringerer Aufwand für Brandschutz aufgrund weniger/keiner Durchdringungen von Brandabschnitten
- + Anlagensicherheit hoch, da bei Ausfall eines Gerätes nur ein Raum/eine Zone betroffen sind
- + Reinigung unaufwendig, da nur kleines bzw. kein Verteilsystem
- ± Zugänglichkeit hängt von der Unterbringung dieser Geräte ab
- hoher Aufwand bei Wartung und Instandhaltung aufgrund der dezentralen Lüftungsgeräte (Filterwartung, usw.)
- Funktionskontrolle aufgrund der dezentralen Lüftungsgeräten und der individuellen Einstellmöglichkeiten schwierig

Medienversorgung

- für die Versorgung mit Heiz-/Kühlenergie ist Anspeisung an Heiz-/Kühlsystem erforderlich
- Bei Kondensatanfall Ableitung in Abfluss für jedes Gerät erforderlich

Hygiene

- + Rohrreinigungen nicht aufwändig, da kleine bzw. keine Leitungslängen
- ± Hochwertige Filtertechnik einsetzbar; mehrstufige Filterung und große Filterflächen aufgrund des Platzbedarfs schwieriger realisierbar
- Geringere Filterstandzeit aufgrund kleinerer Filterfläche
- Zuluftqualität eingeschränkt, aufgrund nicht frei wählbarer Platzierung der Ansaugung und möglicher Kurzschlüsse mit der Fortluft
- Durchfeuchtung der Außenluftfilter aufgrund schwierigerer Ansaugsituation möglich
- Luftkurzschlüsse zwischen Fort- und Außenluft bei Fassadenintegration möglich

6.3.4 Bewertung der Lüftungsarten in Schulen

Eine Studie von Muss C. aus dem Jahre 2004 bewertete die Eignung der verschiedenen Lüftungsarten in Schulen. Semizentrale Lüftungsanlagen wurden bei dieser Studie von Muss nicht berücksichtigt.

Tabelle 6.4: Bewertung der Lüftungsarten in Schulen (Muss 2004)

	Luft- qualität	Therm. Komfort Winter	Therm. Komfort Sommer	Heiz- energie- bedarf	Strom- verbrauch Lüftung	Planungs- aufwand	Herstell- kosten HL netto
Mechanische Lüftungsarten							
Zentrale mech. Lüf- tung	gut bis sehr gut	gut bis sehr gut	mittel bis sehr gut	15 bis 50 kWh/m ² a	3.5 bis 12 kWh/m ² a	hoch	80 bis 140 €/m ²
Dezentrale mech. Lüf- tung	gut bis sehr gut	gut bis sehr gut	mittel bis sehr gut	15 bis 50 kWh/m ² a	2.5 bis 9 kWh/m ² a	mittel bis hoch	90 bis 170 €/m ²

Die Einschätzungen bzw. Werte von Stromverbrauch und Herstellkosten passen sehr gut mit den ermittelten Ergebnissen der Evaluierung zusammen.

6.4 Lüftungsprinzipien

Man unterscheidet grundsätzlich zwei verschiedene Lüftungsprinzipien: die Verdrängungslüftung und die Verdünnungslüftung. Folgende Abbildung zeigt die Einteilung der Lüftungsprinzipien.

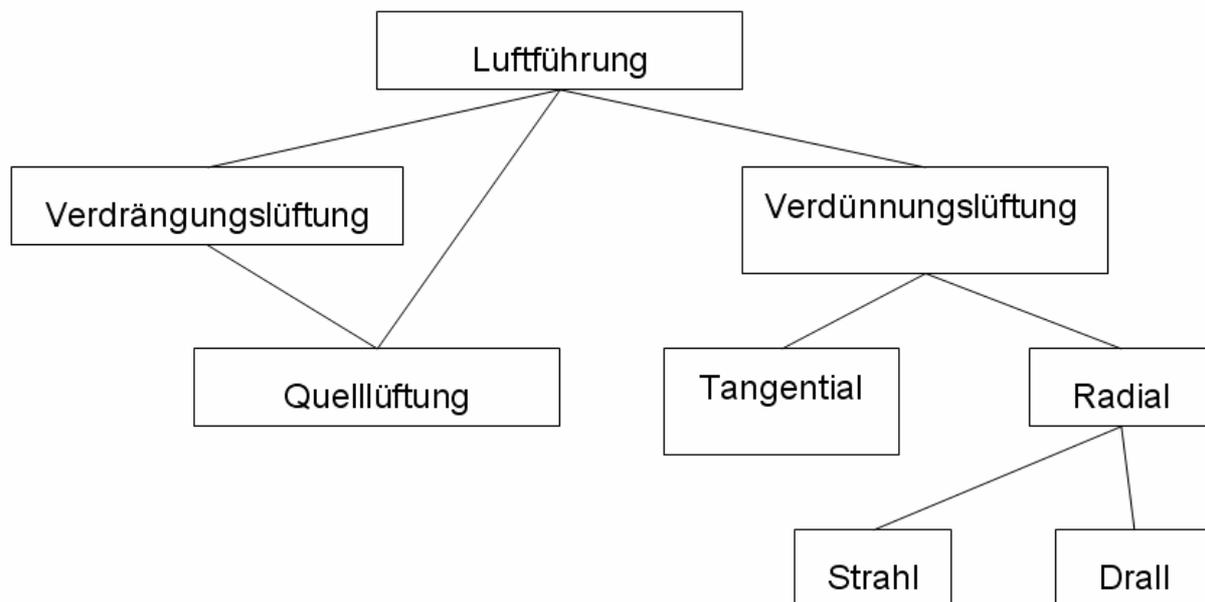


Abbildung 6.7: Einteilung der Lüftungsarten (vgl. Recknagel et al. 2007/2008)

6.4.1 Verdrängungslüftung

Die Luft wird bei der Verdrängungslüftung großflächig in einen Raum eingebracht und auf der anderen Seite wieder fortgeführt. Dabei verhält sich der Raum wie ein Kanalstück. Eine Vermischung der Raumluft ist dabei unerwünscht. Vielmehr soll die frische Luft die vorhandene Raumluft verdrängen. Angewandt wird dieses Prinzip vor allem in der Reineluftechnik. Die Quelllüftung, die eine Sonderform der Verdrängungslüftung ist, wird aber in vielen Bereichen eingesetzt.

Quelllüftung: Bei der Quelllüftung wird die für den Raum erforderliche Frischluft durch bodennah angeordnete, großflächige Auslässe zugeführt. Die Frischluft muss dabei geringfügig kälter sein als die Raumluft (1 bis 2 K unter der Raumluft)

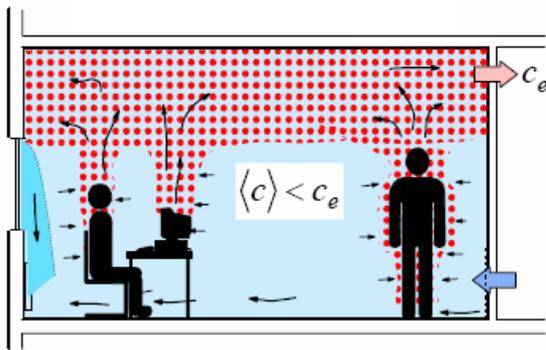


Abbildung 6.8: Schadstofftransport bei Quelllüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)

Es bildet sich im Bodenbereich ein „Frischlufsee“, dessen Luft an warmen Flächen, wie z.B. Menschen nach oben strömt. Dadurch werden die Emissionen und Partikeln nach oben abgeführt. Die Abluft soll im Deckenbereich abgesaugt werden. Bei Komfortanwendungen soll die Austrittsgeschwindigkeit aus Quellluftdurchlässen 0,2 m/s nach RHEVA-Guidebook 1 nicht überschreiten. Die Austrittsgeschwindigkeit ist von der zulässigen Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich zu unterscheiden. Um das Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich zu beschränken sind max. 0,13 m/s bei 20°C Raumtemperatur nach ÖNORM EN 13779:2008 als Standardwert für 15 % Zugluftrisiko zulässig (Siehe auch Qualitätskriterium 6).

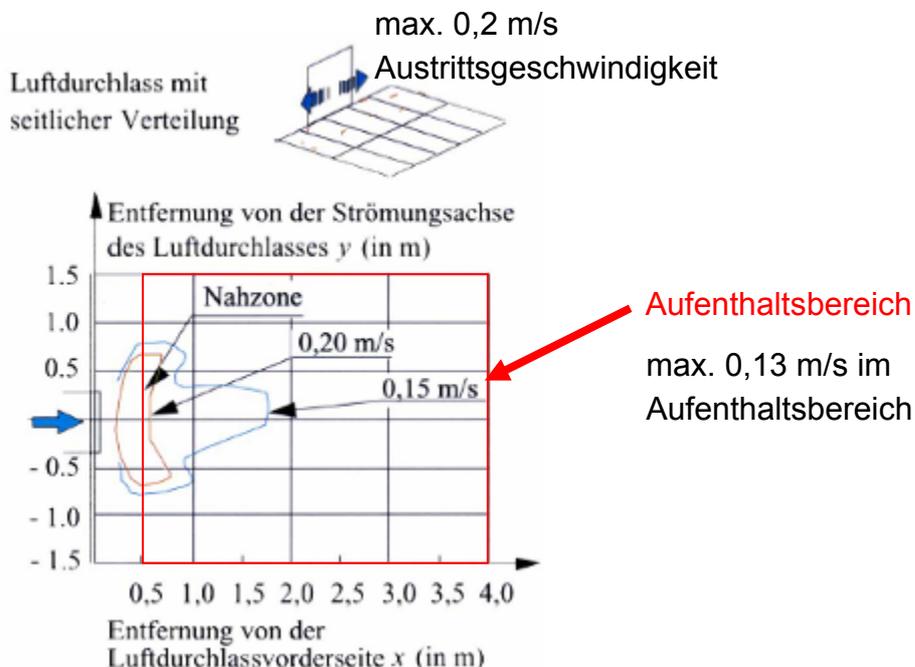


Abbildung 6.9: maximale Strömungsgeschwindigkeiten vor Luftdurchlässen und im Aufenthaltsbereich (vgl. REHVA Guidebook Nr. 1)

Die Vorteile der Quelllüftung sind¹²:

- Verbesserte Luftqualität in der Aufenthaltszone aufgrund der Schadstoffverteilung

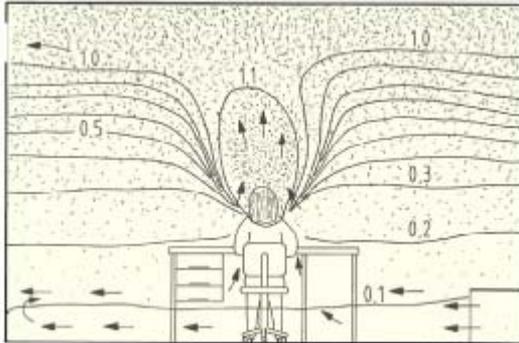


Abbildung 6.10: Schadstoffverteilung Quelllüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)

- Bessere thermische Behaglichkeit durch niedrige Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade
- Geringere Geräuscentwicklungen am Luftdurchlass durch geringere Luftgeschwindigkeiten
- Gutes Teillastverhalten, da sich geänderte Luftvolumenströme nicht auf die Art der Lufteinbringung auswirken (im Gegensatz zu Induktion, dort nimmt die Wurfweite mit dem Luftvolumenstrom ab)
- Eignung für hohe spezifische Volumenströme
- Energetisch günstig bei hohen Räumen
- Hohe Lüftungswirksamkeit, falls alle Schadstoffquellen gleichzeitig Wärmequellen sind

¹² Vgl. Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin – Institut für Energietechnik, Fachgebiet für Heiz- und Raumlufttechnik: Klimatechnik für Architekten: 02.Februar 2005

Nachteile der Quelllüftung¹³:

- Gefahr von „Kalten Füßen“ durch geringere Zulufttemperatur als Raumtemperatur
- Große Austrittsflächen notwendig (in Bodennähe); bei Wahl von falschen Durchlässen Zugluftgefahr

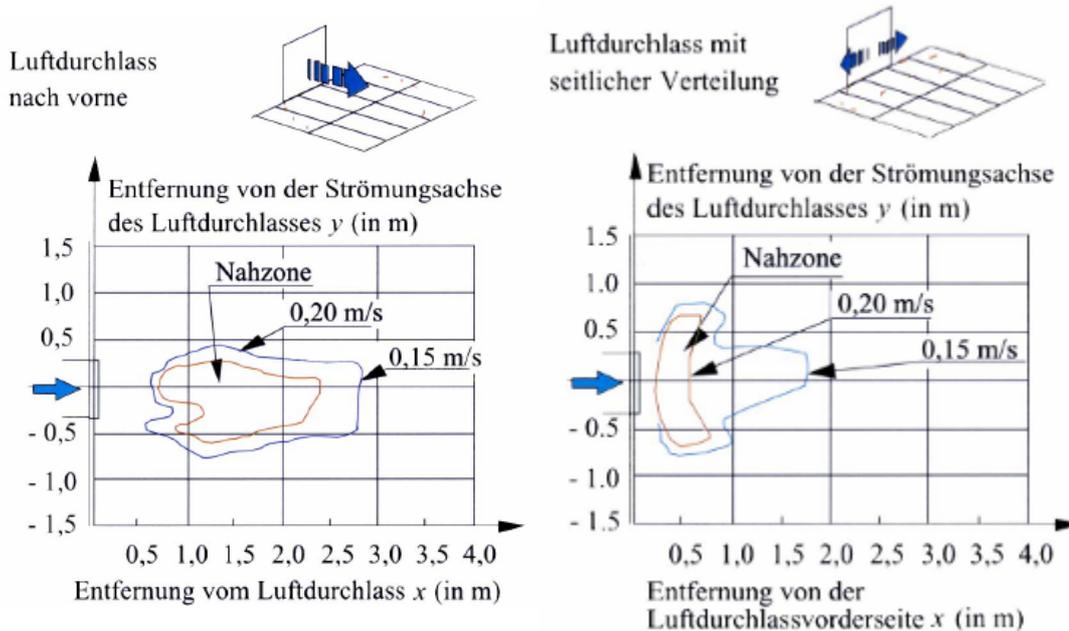


Abbildung 6.11: Geschwindigkeitsverteilung von Luftdurchlässen in Abhängigkeit von Einströmrichtung und Entfernung (REHVA Guidebook Nr. 1)

- Luftheizung nicht sinnvoll



Abbildung 6.12: Kurzschluss bei Quelllüftung im Heizfall (REHVA Guidebook Nr. 1)

¹³ Vgl. Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin – Institut für Energietechnik, Fachgebiet für Heiz- und Raumlufttechnik: „Klimatechnik für Architekten“, 2005

6.4.2 Verdünnungslüftung (Mischlüftung)

Die Verdünnungslüftung (Mischlüftung) zählt zu den ältesten und am häufigsten eingesetzten Lüftungsprinzipien. Unter Verdünnungslüftung (Mischlüftung) versteht man all die Systeme, bei denen die Zuluft durch einzelne Luftstrahlen in den Raum eingebracht wird. Die Frischluft wird dabei mit höherer Geschwindigkeit (Impuls) in den Raum eingebracht, um eine gute Durchmischung zu erreichen. Der Partikelaustrag erfolgt durch Verdünnung der Raumluft mit der Frischluft, diese Mischluft wird dann abgeführt (Geyer, 2004).

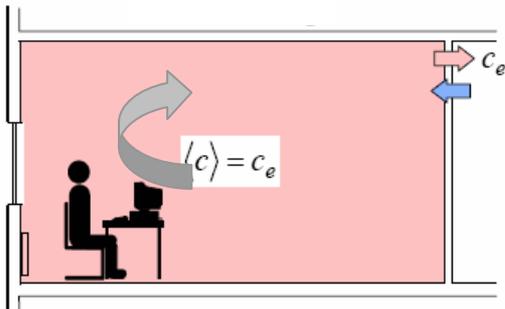


Abbildung 6.13: Grundprinzip der Mischlüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)

Bei der Auslegung ist auf die richtige Wahl, der Anzahl und Anordnung der Luftauslässe, sowie auf eine genaue Berechnung des Volumenstroms zu achten. Dies ist bezüglich der thermischen Behaglichkeit, der Luftqualität und der Luftgeschwindigkeit im Raum erforderlich.

Vorteile:

- Geringere Investitionskosten
- Zu- und Abluftauslässe können vielfältig angeordnet werden

Nachteile:

- Emissionen und Partikel verteilen sich im Raum
- geringere Luftqualität im Aufenthaltsbereich

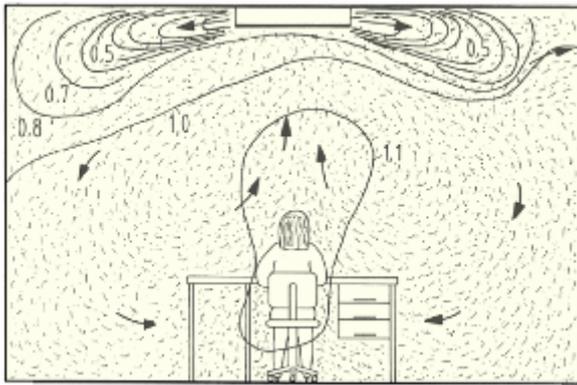


Abbildung 6.14: Schadstoffverteilung Mischlüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)

6.4.3 Lüftungseffektivität

Die Lüftungseffektivität beschreibt bei gegebenem Luftvolumenstrom die Wirksamkeit der Lüftung im Aufenthaltsbereich eines Raumes. Die Lüftungseffektivität geht mit der Geschwindigkeit einher, mit der frische Außenluft zugeführt und Schadstoffe abgeführt werden.

Wesentlicher Einfluss auf die Lüftungseffizienz hat die Luftführung im Raum. Dabei ist es grundsätzlich wichtig, dass die erforderliche Außenluft nicht im Kurzschluss ungenutzt am Aufenthaltsbereich vorbei strömt, sondern die vorhandene Raumluft verdrängt oder auffrischt. Es werden bei der Luftführung drei grundsätzliche Strömungsformen: Verdrängungsströmung, Verdünnungsströmung und Kurzschlussströmung unterschieden. Von diesen Strömungsformen hat die Verdrängungsströmung die beste und die Kurzschlussströmung die schlechteste Lüftungseffizienz. (Wikipedia – Freie Enzyklopädie: Stand 01.2008)

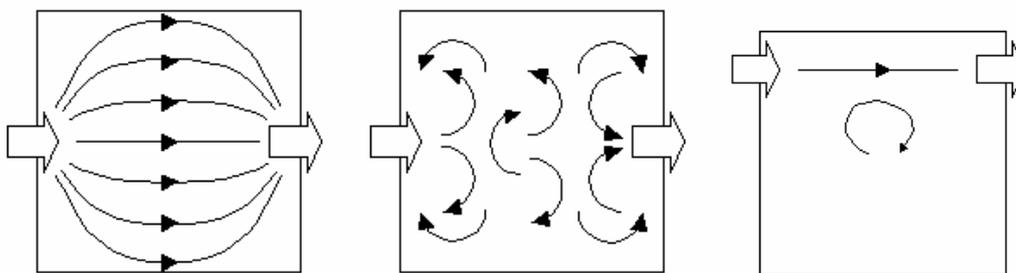


Abbildung 6.15: Verdrängungslüftung – Verdünnungslüftung – Kurzschlusslüftung (Wikipedia – Freie Enzyklopädie)

Die Lüftungseffektivität teilt sich auf in die Bereiche Lüfterneuerung und Schadstoffbeseitigung, und lässt sich jeweils weiter verfeinern:

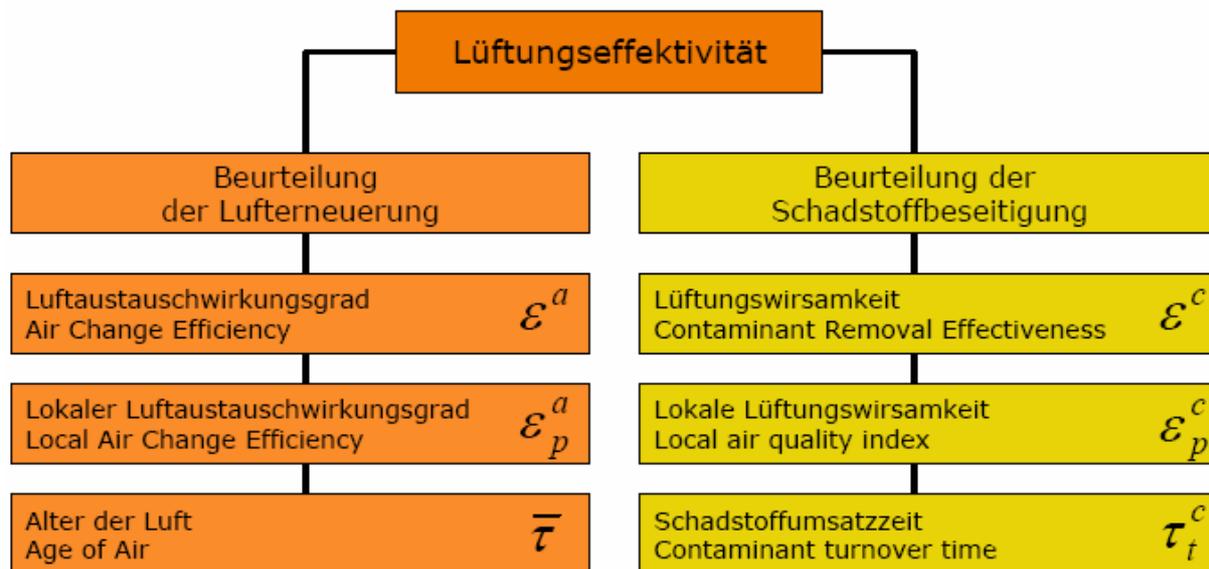


Abbildung 6.16: Aufteilung der Lüftungseffektivität auf die Bereiche Lüfterneuerung und Schadstoffbeseitigung (Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin)

Von besonderer Bedeutung ist die Lüftungswirksamkeit. Diese beschreibt das Verhältnis der mittleren Schadstoffkonzentration in der Abluft zur mittleren Schadstoffkonzentration im Raum (Håkon Skistag et Al.: REHVA Guidebook – Displacement Ventilation in non-industrial premises; Finland 2002).

$$\varepsilon^c = \frac{\text{Konzentration Abluft}}{\text{Mittlere Konzentration}} = \frac{c_e}{\langle c \rangle}$$

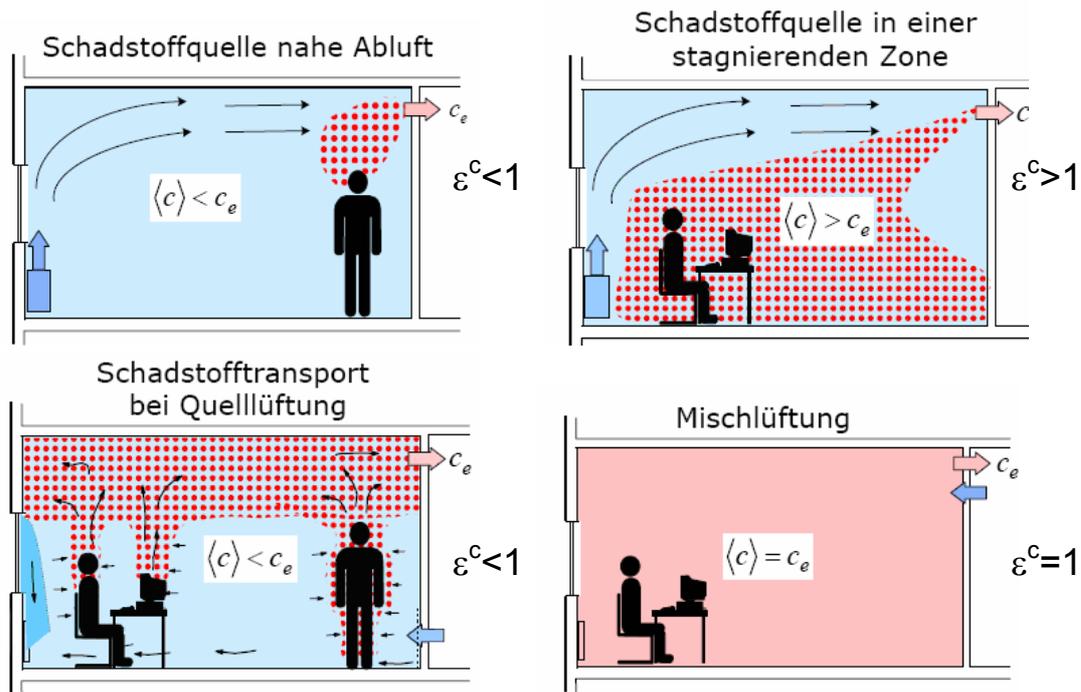


Abbildung 6.17: Lüftungswirksamkeit von Raumdurchströmungen (REHVA Guidebook Nr. 1)

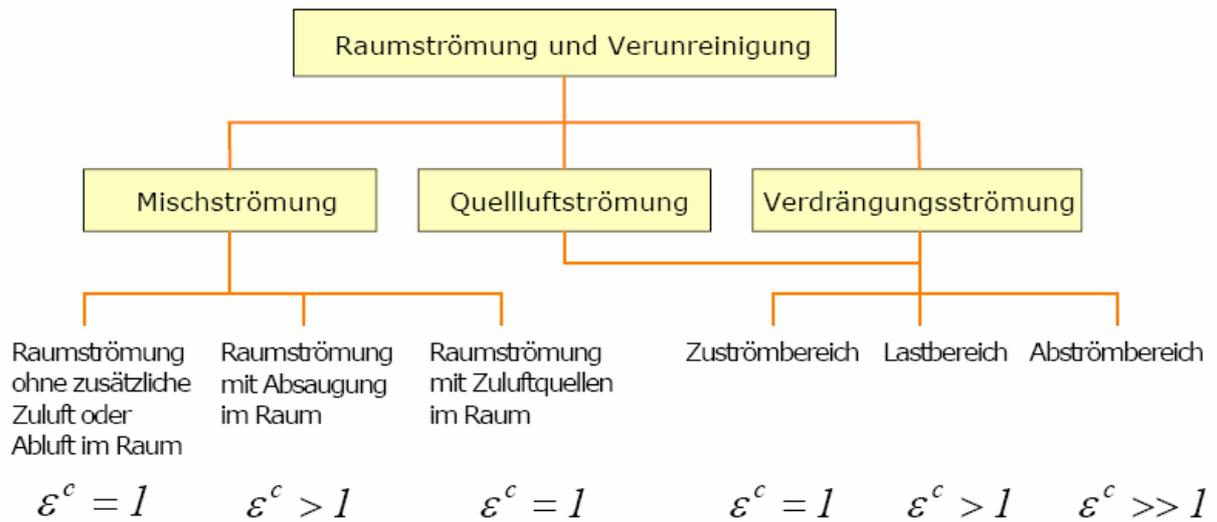


Abbildung 6.18: Einteilung der Lüftungswirksamkeit in Abhängigkeit des Lüftungsprinzips (Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin)

Im Normalfall geht man davon aus, dass beide Lüftungssysteme, Verdrängungslüftung (Quelllüftung) und Mischlüftung, dieselben Luftwechselraten benötigen. Die Verdrängungslüftung ergibt aber bei gleichen Luftwechselraten eine bessere Lüftungswirksamkeit. Der Schluss, dass damit die Luftwechselraten bei Verdrängungslüftungen gesenkt werden können, um dieselbe Lüftungswirksamkeit zu erhalten wie bei Mischlüftungen, ist aber nicht zulässig. Selbst das REHVA Guidbook „Displacement Ventilation in non-industrial premises“ warnt, dass diese oben genannten besseren Lüftungswirksamkeiten nur Laborwerte sind, die nicht im realen Umfeld mit sich bewegenden Personen getestet wurden. D.h. bei fachgerechter Ausführung sind grundsätzlich beide Systeme für Klassenzimmer geeignet, wobei aufgrund der theoretisch höheren Lüftungseffektivität der Quelllüftung der Vorzug gegeben werden sollte. Eine besondere Luftverteilung innerhalb der Klasse ist normalerweise nicht notwendig. Dies zeigen z.B. auch die folgenden Bilder eines Rauchtest an der Volksschule in Virgen auf (vgl. Greml A.: Messauswertung Klassenzimmerlüftung Hauptschule Virgen/Osttirol (2004)).

Klasse mit speziellem Verteilsystem (Mischlüftung):



Abbildung 6.19 a–d: Raumdurchströmung in der Klasse 3a

Die Bilder zeigen die sehr gleichmäßige Luftverteilung durch die Einblasöffnungen. Grundsätzlich gibt es sehr detaillierte Untersuchungen und Optimierungen durch die FH Pinkafeld zu diesem System.

Klasse ohne Verteilsystem (Mischlüftung):





Abbildung 6.20 a–d: Raumdurchströmungen in der Klasse 3b

Die Bilder zeigen, dass der Luftstrom entlang der Decke weit nach vorne reicht, bzw. auch ohne spezielle Luftverteilung eine ausreichende Raumdurchströmung gegeben ist.

6.5 Arten der Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung

Eine wichtige Maßnahme zur Energieeinsparung einer Lüftungsanlage ist die Möglichkeit, die Energie der Abluft zurückzugewinnen. Im Wesentlichen kommen zwei Typen von Energierückgewinnungssystemen vor:

1. Rekuperative Wärmeübertragung
2. Regenerative Wärmeübertragung

Zu beachten ist noch, dass der größte Wärmeaustauschgrad nicht immer der günstigste ist. Je höher der Austauschgrad ist, desto größer sind auch die Kapitalkosten und die Druckverluste. Die Betriebskosten erhöhen sich umso mehr, je größer der Energiebedarf für Ventilatoren, Pumpen oder Kompressoren ist. Für große Anlagen ist es daher zweckmäßig, durch eine Optimierungsrechnung festzustellen, bei welchem Rückgewinnungsgrad die geringsten Gesamtkosten entstehen. Von besonderem Einfluss ist dabei die jährliche Betriebsstundenzahl. Je größer diese ist, umso höher kann auch der Wärmerückgewinnungsgrad sein. Gewöhnlich liegt das Optimum zwischen 0,5 und 0,8 (vgl. Recknagel et al. 2007/2008).

6.5.1 Rekuperative Wärmeübertragung

Dabei werden feste Austauschflächen verwendet und die Stoffströme treten nicht in Kontakt miteinander, wobei gewöhnlich nur sensible Wärme übertragen wird (Trennflächen-Wärmetauscher). Die wichtigsten Vertreter dieser Wärmerückgewinnungssysteme sind die Plattenwärmetauscher (Plattenwärmeübertrager).

Rekuperative Systeme

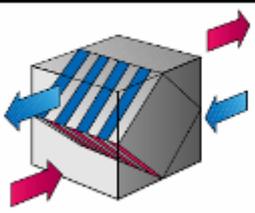
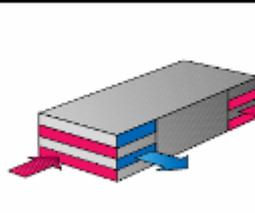
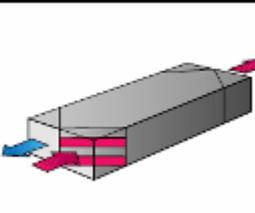
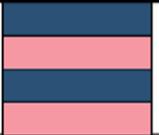
Prinzip-skizze			
Strömungsprofil			
Wärmetauschertyp	a) Kreuzstrom-Platten-Wärmetauscher	b) Gegenstrom-Platten-Wärmetauscher	c) Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher
Einsatz	in WRG-Anlagen weit verbreitet	in WRG-Anlagen kaum eingesetzt	für Haus- und Wohnungslüftung
Rückwärmzahl	50-70 %	70-80 %	85-90 %

Abbildung 6.21: Rekuperative Wärmetauscher – typische Rückwärmzahl (Fa. Paul)

6.5.1.1 Plattenwärmetauscher¹⁴

Die Trennflächen sind verklebt, mechanisch geklemmt, verlötet oder verschweißt. Ausführung in Würfel- oder Rechteckform. Mehrere Einheiten können gegenseitig oder gleichsinnig hintereinander geschaltet werden.

Rückwärmzahl: 0,4 bis 0,9

Rückfeuchtezahl: normalerweise keine Feuchterückgewinnung

¹⁴ Vgl. www.rlt-info.de, Stand 02.2008

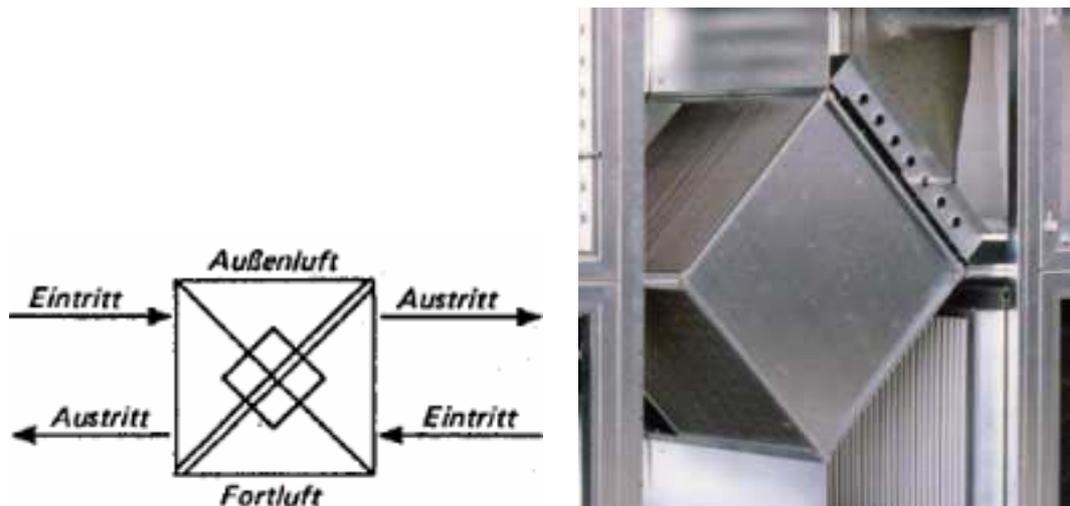


Abbildung 6.22 a und b: Plattenwärmetauscher – Symbol und Bild

Die Definitionen für die Bezeichnungen Kreuzstrom, Kreuzgegenstrom und Gegenstrom sind teilweise unterschiedlich. In der ÖNORM B 8110-6:2007 ist folgende Definition enthalten.

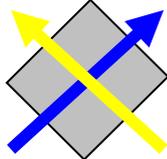
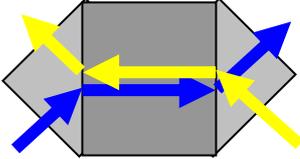
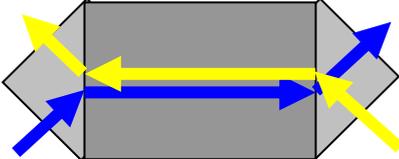
Anteil Wärmeübertragung im Gegenstromprinzip:		
		
Kreuzstrom-Wärmetauscher < 25%	Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher 25 % - 75 %	Gegenstrom-Wärmetauscher > 75%

Abbildung 6.23: Einteilung der Wärmetauscher (vgl. ÖNORM B 8110-6: 2007, Tabelle 14)

Feuchteübertragende rekuperative Systeme mit speziellen, feuchteübertragenden Wärmetauschern sind derzeit nur im Kleingerätebereich verfügbar.

6.5.2 Regenerative Wärmeübertragung

Dabei werden Speichermassen verwendet, die Wärme oder Feuchte oder beides aufnehmen und wieder abgeben. Beim Rotationswärmetauscher ist die Speichermasse fest, beim kreislaufverbundenen Wärmetauscher dagegen flüssig (Recknagel et al. 2007/2008). Das Durchströmen der jeweiligen Luft kann kontinuierlich erfolgen (Rotationswärmetauscher) oder durch Umschalten in Zeitintervalle (Umschalt-Wärmerückgewinner) geregelt sein. Bei diesen Systemen kann es zu einem Stoffaustausch kommen.

Kreislaufverbundsysteme werden aber entgegen dieser Definition in der Literatur auch als rekuperative Systeme bezeichnet, da es bei diesem System aufgrund des flüssigen Wärmeträgers zu keinem Stoffaustausch zwischen Zu- und Abluftseite kommt.

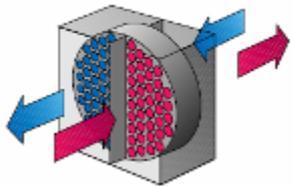
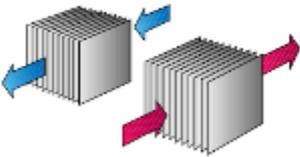
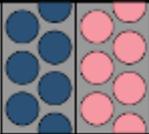
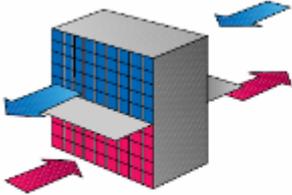
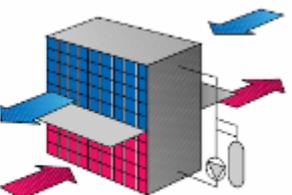
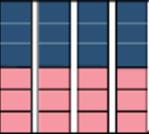
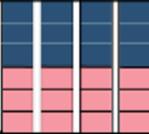
Regenerative Systeme		
Prinzip-skizze		
Strömungs-profil		
Wärmetau-schertyp	f) Rotationswärmetauscher	g) statischer Wärmetauscher
Einsatz	dezentrale Geräte und Industrie	dezentrale Geräte und Industrie
Rück-wärmezah	45 % poröse Masse ist gleichzeitig Ventilatorrad; 50-80% Metallspeicher, Ventilator separat	60-75 %
Prinzip-skizze		
Strömungs-profil		
Wärmetau-schertyp	d) Heat-pipe Rohr-Lamellen-Wärmetauscher	e) Kreislauf verbundenes System
Einsatz	in großtechnischen Anlagen	nicht in der Wohnungslüftung
Rück-wärmezah	40-65 %	40-65 %

Abbildung 6.24: Regenerative Wärmetauscher – typische Rückwärmezahlen (Fa. Paul)

6.5.2.1 Rotoren mit oder ohne Sorption¹⁵

Rotierende Speichermasse aus korrosionsbeständigem Material ohne hygroskopischer oder mit hygroskopischer Beschichtung zur zusätzlichen Feuchteübertragung.

¹⁵ Vgl. www.rlt-info.de, Stand 02.2008

Rückwärmzahl: 0,7 bis 0,8
Rückfeuchtezahl: 0,6 bis 0,7 mit Sorption bzw.
0,1 bis 0,2 ohne Sorption: Bei Kondensation aus der Abluft erfolgt eine geringe Feuchteübertragung.

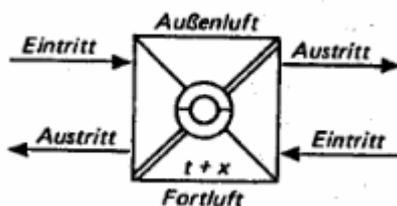


Abbildung 6.25: Rotor mit Sorption – Symbol und Bild

6.5.2.2 Umschalt Speicher¹⁶

Das Gerät enthält zwei Wärmespeicherpakete, durch welche die Außen- und Fortluft wechselweise gefördert wird. Die Klappen werden in kurzen Intervallen durch Elektromotoren betrieben.

Rückwärmzahl: 0,6 bis 0,9
Rückfeuchtezahl: 0,5 bis 0,7 mit Sorption bzw.
0,1 bis 0,2 ohne Sorption: Bei Kondensation aus der Abluft erfolgt eine geringe Feuchteübertragung.

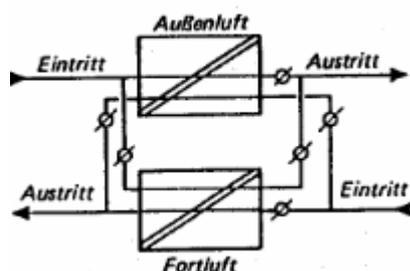


Abbildung 6.26: Umschalt Speicher – Symbol

¹⁶ Vgl. www.rlt-info.de, Stand 02.2008

6.5.2.3 Kompakt Wärmeaustauscher – Kreislaufverbundsystem¹⁷

Glattrohr-, Rippenrohr- oder Block-Wärmeaustauscher, eventuell in unterschiedlicher Ausführung im Fortluft- und Außenluftstrom, werden über ein Kreislaufverbundsystem zusammengefügt. Anwendungsfälle sind hauptsächlich bei weit entfernter Außen- und Fortluftführung oder bei hohen hygienischen Anforderungen zu finden, da Stoffübertragungen bei diesem System ausgeschlossen sind.

Rückwärmzahl: 0,3 bis 0,5 bzw.
0,4 bis 0,7 (Recknagel et al. 2007/2008)
Rückfeuchtezahl: keine Feuchteübertragung

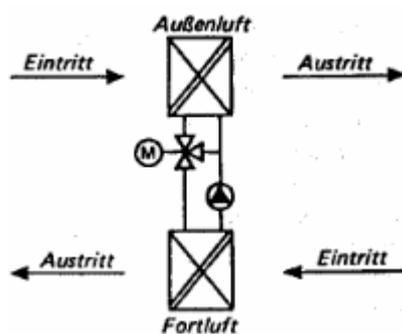


Abbildung 6.27: Kompakt Wärmetauscher – Kreislaufverbundsystem – Symbol

6.5.2.4 Wärmerohr

Ein Wärmerohr (Heat Pipe) besteht aus einem geschlossenen Rohr, welches mit einem Kältemittel gefüllt ist. Dieses Rohr ist an der einen Seite in der Abluft und an der anderen in der Außenluft. An der Abluftseite verdampft das Kältemittel und nimmt Wärme auf, an der Außenluftseite kondensiert das Kältemittel und gibt die Wärme ab.

Rückwärmzahl: 0,35 bis 0,7 (Recknagel et al. 2007/2008)
Rückfeuchtezahl: keine Feuchterückgewinnung

¹⁷ Vgl. www.rlt-info.de, Stand 02.2008

6.5.3 Zusammenfassung

In nachfolgender Tabelle sind die oben genannten Systeme gegenübergestellt und zusammengefasst.

Tabelle 6.5: Zusammenfassung Wärmerückgewinnungssysteme

WRG - System	Wärmeübertrager	Rückwärmzahl	Rückfeuchtzahl
Rekuperative Systeme			
Plattenwärmetauscher	Plattenwärmetauscher	0,4 - 0,8	0
	Plattenwärmetauscher (feuchtedurchlässige Folien)	0,4 - 0,8	0 - 0,8
Regenerative Systeme			
Rotoren	Rotor mit Sorption	0,7 - 0,8	0,6 - 0,7
	Rotor ohne Sorption	0,7 - 0,8	0,1 - 0,2
Sonstige	Umschalt Speicher mit Sorption	0,6 - 0,9	0,6 - 0,7
	Umschalt Speicher ohne Sorption	0,6 - 0,9	0,5 - 0,7
	Kreislauf-Verbundsysteme Kompakt-Wärmetauscher	0,3 - 0,5	0
	Wärmerohre	0,35 - 0,7	0

6.6 Filter

Luftfilter haben die Aufgabe Verunreinigungen aus der Luft abzuscheiden. Die Filter sind normalerweise auf der Außenluft- und Abluftseite vor dem Wärmetauscher angebracht, um eine Verschmutzung des Wärmetauschers zu verhindern. Des Weiteren können noch Filter vor dem Erdwärmetauscher und in der Zuluft angeordnet sein.

Die Luftfilter können laut ÖNORM EN 799:2002 in Grobstaubfilter, Feinstaubfilter und Schwebstofffilter unterteilt werden.

Tabelle 6.6: Filterklassen und Abscheidegrade nach EN 779

Filter- klasse	Abscheidegrade in %						
	Partikelgröße (µm)						
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
G 1	-	-	-	-	0 - 5	5 - 15	40 - 50
G 2	-	-	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	50 - 70
G 3	-	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	35 - 70	70 - 85
G 4	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	30 - 55	60 - 90	85 - 98
F 5	0 - 10	5 - 15	15 - 30	30 - 50	70 - 90	90 - 99	> 98
F 6	5 - 15	10 - 25	20 - 40	50 - 65	85 - 95	95 - 99	> 99
F 7	25 - 35	45 - 60	60 - 75	85 - 95	> 98	> 99	> 99
F 8	35 - 45	65 - 75	80 - 90	95 - 98	> 99	> 99	> 99
F 9	45 - 60	75 - 85	90 - 95	> 98	> 99	> 99	> 99

Die Bauarten, der auf dem Markt befindlichen Luftfilter sind vielfältig. Die gebräuchlichsten Filter in der Lüftungstechnik sind Textilfilter der Bauart:

- Mattenfilter
- Kassettenfilter
- Taschenfilter

Betrachtet man die zu überwindenden Widerstände im Rohrleitungssystem, so kann man feststellen, dass die Luftfilter zwischen 20 und 50 % der Gesamtdruckverluste einer Anlage darstellen können. Somit wird deutlich, welches Energieeinsparpotential in dieser Lüftungstechnischen Komponente liegt.

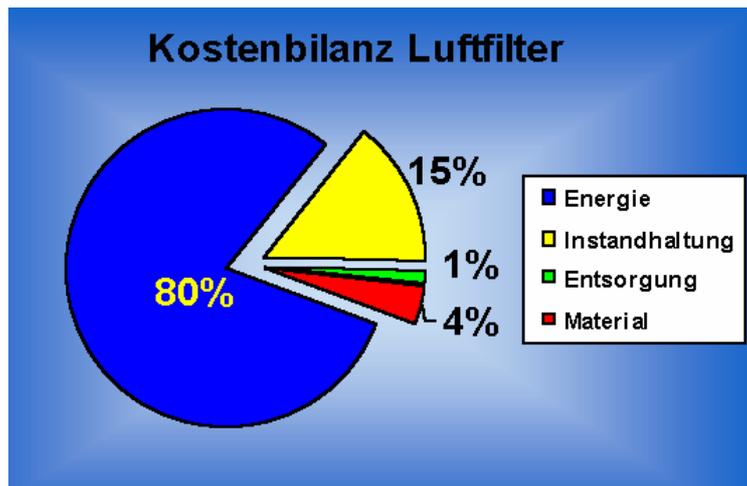


Abbildung 6.28: Kostenbilanz eines Luftfilters F7 über einen Zeitraum von 10 Jahren (Eurovent Rec 10, Jan. 1999) Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01.2008

Textilfilter verursachen erhebliche Energiekosten. Es sind daher immer großflächige Filtersysteme, d. h. Taschenfilter zu bevorzugen.

6.7 Ventilatoren¹⁸

Ventilatoren sind in RLT-Geräten die Bauteile mit dem größten Energiebedarf. Die Energiekosten verteilen sich ungefähr wie folgt:

- 30–50 % Ventilatoren
- 30–50 % Wärmebedarf/Heizlast
- 20–30 % Kühlbedarf/Kühllast

Wirtschaftlichkeit:

Neben den Energiekosten des RLT-Gerätes ist auch die Kostenverteilung des Ventilators zu beachten. Das Diagramm zeigt, dass bezogen auf einen längeren Zeitraum von z.B. 10 Jahren nicht die Investitionskosten, sondern die Energiekosten die entscheidende Größe sind und dass hier insbesondere bei Altanlagen ein Einsparpotential von ca. 25 % liegt. Bei der Beurteilung und Auswahl von Ventilatoren sind deshalb immer die gesamten über einen bestimmten Zeitraum anfallenden Kosten zu betrachten.

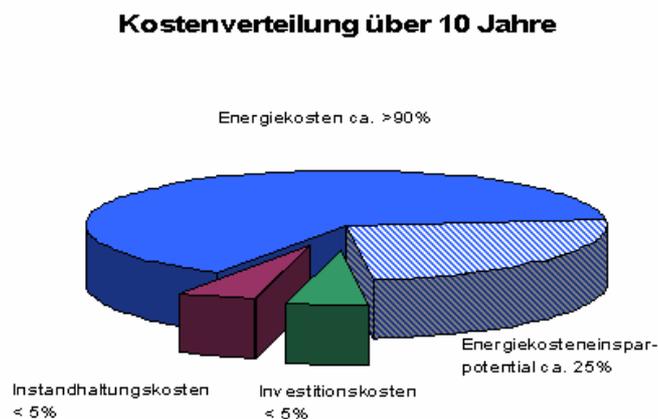


Abbildung 6.29: Antriebe (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008)

6.7.1 Antriebe

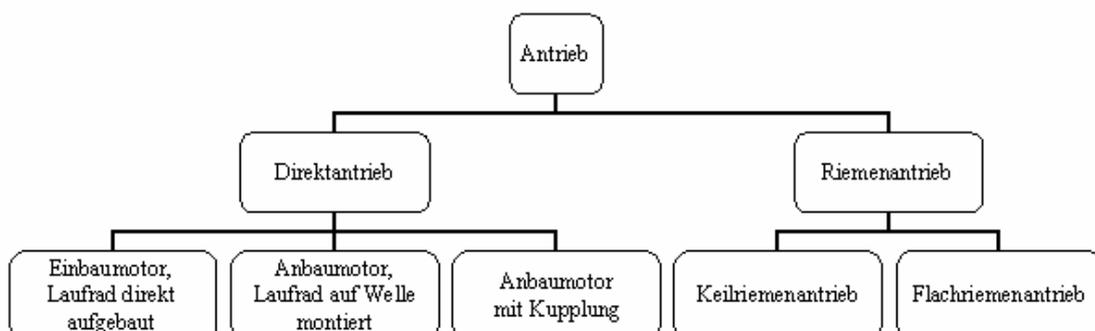


Abbildung 6.30: Antriebe (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008)

¹⁸ Vgl. www.rlt-info.de, Stand 01. 2008

6.7.1.1 Riemenantrieb

- Antrieb über Flachriemen
(Energieverbrauch 2–3 %, lange Lebensdauer, wartungsarm, schwingungsarm)
- Antrieb über Keilriemen
(Energieverbrauch 5–10 %, hoher Riemenverschleiß, Filterverschmutzung durch Riemenabrieb)



Abbildung 6.31: Riemenantrieb (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008)

6.7.1.2 Direktantrieb

Direktantriebe haben den Vorteil, dass sie keine Verluste durch die Drehmomentübertragung aufweisen, d.h. die Antriebsenergie von 2–3 % gegenüber einem Flachriemen bzw. 5–10 % bei einem Keilriemen einsparen. Zudem sparen sie Instandhaltungskosten und haben eine Fehlerquelle weniger. Es sollten daher nach Möglichkeit Direktantriebe eingesetzt werden.

- Antrieb über Außenläufermotor
(das Laufrad ist unmittelbar auf dem Rotor des Motors befestigt, der gleichzeitig die Laufradnabe bildet; kompakte Bauform, anschlussfertig, wartungsfrei)
- Antrieb über einen Normmotor
(das Laufrad ist mit seiner Nabe direkt auf der Motorwelle befestigt oder mittels Kupplung mit dieser verbunden)
- geeignet für mittlere bis große Druckerhöhungen (bis ca. 30.000 Pa)
- geeignet für kleine bis große Volumenströme (bis ca. 300.000 m³/h)



Abbildung 6.32: Direktantrieb (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008)

6.7.2 Motoren

Ventilatoren werden üblicherweise durch Elektromotoren angetrieben, z.B.:

- Asynchron-Motoren
- Asynchron-Motoren in Verbindung mit Frequenzumformern
- schlupfregelbare Asynchron-Motoren mit Phasenanschnitt, Trafosteuerung oder elektronisch spannungsgesteuert
- permanentmagneterregte Motoren mit elektrischer Kommutierung (EC-Motore)

Die Wirkungsgrade dieser Motoren weichen teilweise erheblich voneinander ab. Auch der Wirkungsgrad im Teillastbereich spielt dabei eine Rolle. Aus Effizienzgründen sollte nur noch EC-Antriebe eingesetzt werden.

EC-Motor:

EC-Motoren bestehen aus elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren und darauf abgestimmten EC-Controllern.

Der EC-Motor ist ein kollektor- und bürstenloser permanentmagneterregter Gleichstrommotor. Der EC-Controller kommutiert die Motorwicklungen elektronisch und damit verschleißfrei. Darüber hinaus überwacht der EC-Controller den Motor und stellt Schnittstellen für eine einfache Steuerung des Antriebes zur Verfügung. Die Antriebe sind auf kompakte Bauweise und hohen Wirkungsgrad in einem breiten Drehzahl-Drehmomentbereich hin optimiert.

- einfache Inbetriebnahme
- geräuscharm
- großer Drehzahlstellbereich
- wartungsfrei
- hoher Wirkungsgrad auch im Teillastbereich

6.8 Energetische Kennwerte bei Lüftungsanlagen

Bei Klassenzimmerlüftungen muss man bei den Gerätekennwerten zwischen den dezentralen und den zentralen Geräten unterscheiden, da diese auch unterschiedlich geprüft werden. Dezentrale Klassenzimmerlüftungsgeräte entsprechen im Grunde großen Wohnraumlüftungsgeräten für Ein- bzw. Zweifamilienhäuser und werden nach ÖNORM EN 13141-7:2004 als gesamtes Gerät geprüft. Zentrale Anlagen sind normalerweise modulartig aufgebaut und die einzelnen Komponenten werden jeweils einzeln nach den entsprechenden Prüfrelementen geprüft.

Wichtige energetische Begriffe im Zusammenhang mit mechanischen Lüftungsanlagen sind:

- Rückwärmezahl
- Wärmerückgewinnungsklassen
- Wärmerückgewinnungsgrad
- Wärmebereitstellungsgrad
- Spezifische Ventilatorleistung – Specific Fan Power (SFP)
- elektrisches Wirkungsgradverhältnis
- Primärenergieeinsparung
- Energieeffizienzklassen A und B lt. RLT-Richtlinie 1

6.8.1.1 Rückwärmezahl

Die Rückwärmezahl ist eine Kennzahl nur für den Wärmetauscher. Sie setzt die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft und die Temperaturdifferenz der Ab- und Außenluft zueinander in Verbindung. Der theoretische Maximalwert beträgt 100 %. Dieser Wert wird gleichermaßen bei zentralen und dezentralen Anlagen verwendet. Je nach Wärmetauschertyp ergibt sich eine Rückwärmezahl (ohne Feuchte) zwischen 50 und 90 %.

6.8.1.2 Wärmerückgewinnungsklassen

Die Klasseneinteilung für Rückwärmezahlen nach der ÖNORM EN 13053:2006 hängen einerseits von den jährlichen Betriebsstunden und andererseits vom Luftvolumenstrom je Einheit ab.

Tabelle 6.7: Wertetabelle für Rückwärmzahlen und Druckverluste nach EN 13053:2007

Klasse WRG	Min. Rückwärmzahl	Max. Druckverlust
H1	Werte x 1,15	Werte x 0,75
H2	Werte x 1,10	Werte x 0,90
H3	Werte x 1,00	Werte x 1,00
H4	Werte x 0,90	Werte x 1,10
H5	Keine Anforderung	Keine Anforderung

Tabelle 6.8: Rückwärmzahlen und Druckverluste je Luftseite nach EN 13053:2007

Laufzeit [h/a]	Volumenstrom [m ³ /h]				
	1980 bis 5000	> 5000 bis 10000	> 10000 bis 25000	> 25000 bis 50000	> 50000
< 2000	- -	0,40 150 Pa	0,43 175 Pa	0,50 200 Pa	0,55 225 Pa
≥ 2000 bis 4000	0,40 175 Pa	0,43 200 Pa	0,47 225 Pa	0,53 250 Pa	0,58 275 Pa
> 4000 bis 6000	0,43 200 Pa	0,45 225 Pa	0,50 250 Pa	0,58 275 Pa	0,63 300 Pa
> 6000	0,45 225 Pa	0,50 250 Pa	0,55 275 Pa	0,63 300 Pa	0,68 325 Pa
Werte bei Massenstromverhältnis 1:1 Bei besseren Rückwärmzahlen höhere zul. Druckverluste					

Rechnet man bei Schulnutzung mit weniger als 2.000 Betriebsstunden, so ergeben sich für durchschnittliche Volumenströme von über 10.000 m³/h minimale Rückwärmzahlen von 0,43 bei max. 175 Pa Druckverlust nach EN 13053:2007. Für die Anforderung der Klasse A muss noch mit den Faktor 1,15 bei der Rückwärmzahl und 0,75 beim Druckverlust multipliziert werden. Daraus ergeben sich für die Klasse H1 folgende Anforderungen: minimale Rückwärmzahl von 0,50 bei max. 131 Pa Druckverlust.

6.8.1.3 Wärmerückgewinnungsgrad

Der Wärmerückgewinnungsgrad wird nach VDI 2071 als Verhältnis der ein- und aus-tretenden Enthalpieströme interpretiert. Im Vergleich zur Rückwärmezahl wird beim Wärmerückgewinnungsgrad neben der sensiblen Wärme auch die latente Wärme berücksichtigt. Dabei sei noch auf die Tatsache hingewiesen, dass in den Berechnungen für den Heizwärmebedarf der Wärmerückgewinnungsgrad an und für sich der falsche Ansatz ist, da im Wärmerückgewinnungsgrad die latente Feuchte mit eingerechnet ist, in der Berechnung des Heizwärmebedarf die latente Wärme aber unberücksichtigt bleibt. Daher wird dadurch der Energiegewinn aus Wärmerückgewinnung überbewertet. (vgl. TZWL Prüfrelement)

6.8.1.4 Wärmebereitstellungsgrad

Der Wärmebereitstellungsgrad berücksichtigt wie der Wärmerückgewinnungsgrad auch die latente Wärme und wird in analoger Form ermittelt. Dabei wird jedoch nicht der Abluftstrom, sondern die für die Wärmebedarfsstellen (Zuluftstrom, Warmwasser, Heizung, ...) des Hauses bereitgestellte Energie bilanziert. Der Wärmebereitstellungsgrad kann dabei je nach Lüftungsgerät zwischen einigen Prozenten (Abwärme der Ventilatoren) bis über 30 % (Wärmepumpen) größer sein als der Wärmerückgewinnungsgrad. (vgl. TZWL Prüfrelement)

6.8.1.5 Spezifische Ventilatorleistung – Specific Fan Power (SFP)

Unter der spezifischen Ventilatorleistung wird die elektrische Stromaufnahme im Verhältnis zur gelieferten Luftmenge verstanden. Sie ist in der ÖNORM EN 13779:2008 definiert. Generell ergibt sich aus den physikalischen Gegebenheiten ein direkter Zusammenhang zwischen der spezifischen Ventilatorleistung (je Ventilator) und der gesamten Druckerhöhung. D.h. bei einem fixen Gesamtwirkungsgrad von Motor und Ventilator ist die Stromeffizienz nur mehr von der Druckerhöhung im Gesamtsystem (intern und extern) abhängig.

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{tot}}$$

Spezifische Ventilatorleistung

P_{SFP} spezifische Ventilatorleistung [$W \cdot m^{-3} \cdot s$]

P elektrische Wirkleistung des Ventilatormotors [W]

q_v Nennvolumenstrom durch den Ventilator [$m^{-3} \cdot s^{-1}$]

Δp Gesamtdruckerhöhung des Ventilators [Pa]

η_{tot} Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor, Antrieb, ... [-]

Die folgende Tabelle zeigt die Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779:2008 und die maximale Gesamtdruckerhöhung bei einem Gesamtwirkungsgrad des Ventilators von 0,60 (Achtung: die Einordnung gilt jeweils für einen Ventilator).

Tabelle 6.9: Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779 (2008)

SFP-Kategorie	P_{SFP} in $[W \cdot m^{-3} \cdot s]$	P_{SFP} in $[W \cdot m^{-3} \cdot h]$	Max. ges. Druckerhöhung bei $\eta_{tot} = 60 \% [Pa]$
SFP 1 ^(*)	< 500	< 0,14	300
SFP 2 ^(*)	500–750	0,14–0,21	450
SFP 3 ^(*)	750–1250	0,21–0,35	750
SFP 4 ^(*)	1250–2000	0,35–0,56	1200
SFP 5 ^(*)	2000–3000	0,56–0,83	1800
SFP 6 ^(*)	3000–4500	0,83–1,25	2700
SFP 7 ^(*)	> 4500	> 1,25	> 2700

(*) SFP.....spezifische Ventilatorleistung

Zusätzliche Einbauten führen nach der ÖNORM EN 13779:2008 zu höheren zulässigen spezifischen Werten: z.B. zusätzliche mechanische Filterstufen (+ 300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$) oder hocheffiziente Wärmerückgewinnungen der Wärmerückföhrungsklasse H2 oder H1 (+ 300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$) zusätzlicher sehr großer Kühler (+ 300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$). Bei den anzustrebenden Wärmerückgewinnungsklasse H2 bzw. H1 ergibt sich damit für SPF 1 ein Wert von 800 $W \cdot m^{-3} \cdot s$ bzw. 0,22 $W \cdot m^{-3} \cdot h$ zum tragen. Dies entspricht einer Gesamtdruckerhöhung von max. 460 Pa. In der Praxis ist daher eine höhere Filterqualität oder eine höhere Wärmerückgewinnungsklasse mit dem höheren Strombedarf abzuwägen.

Nach der OIB Richtlinie 6 sind nur mehr RLT-Geräte mit der SFP Klasse 1 zulässig.

6.8.1.6 Elektrisches Wirkungsverhältnis

Beim elektrischen Wirkungsverhältnis wird die vom Lüftungsgerät bereitgestellte Energie (Wärmerückgewinnung + Motorabwärme) in Verhältnis zur verbrauchten elektrischen Leistung gesetzt. Hierzu zählen die elektrischen Verbraucher des gesamten Gerätes (inkl. Steuerung, etc.). Laut DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) geht bei der Ermittlung des Wärmebereitstellungsgrades und des elektrischen Wirkungsverhältnisses die Leistung der Ventilatoren zu 100 % in die Berechnung ein. In die Temperaturerhöhung der Außenluft geht die elektrische Leistungsaufnahme des Zulufters zu 100 % ein. (vgl. TZWL Prüfrelement)

6.8.1.7 Primärenergieeinsparung

Die Energieeinsparung eines Lüftungsgerätes ist sowohl abhängig vom Wärmebereitstellungsgrad als auch vom elektrischen Strombedarf bzw. dem elektrischen Wirkungsverhältnis. Durch die Bilanzierung der rückgewonnenen Wärmeenergie und der eingesetzten elektrischen Energie auf Primärenergieebene erhält man die Primärenergieeinsparung. (vgl. TZWL Prüfrelement)

6.8.1.8 Energieeffizienzklassen A und B lt. RLT-Richtlinie 1

Der Herstellerverband Raumlufftechnische Geräte e.V. gibt mit der RLT-Richtlinie 1 einen Überblick über den Stand der Technik. Sofern Normen und Richtlinien bei bestimmten Punkten keine eindeutigen Aussagen treffen, nur Empfehlungen aussprechen bzw. nur Klassifizierungen angeben, werden mit dieser RLT-Richtlinie konkrete Festlegungen getroffen.

Diese Richtlinie gilt für alle Raumlufftechnischen Geräte (RLT-Geräte) und deren baulichen Anforderungen. Diese Richtlinie gibt Hinweise zu energetischen, hygienischen und mechanischen Eigenschaften von RLT-Geräten.

Den wesentlichen Einfluss auf die Energieeffizienz eines RLT-Gerätes haben die Luftgeschwindigkeit innerhalb des Gerätes, die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators in Abhängigkeit von Luftvolumenstrom und Druckerhöhung, sowie die Qualität der Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit von Rückwärmzahl und Druckverlust.

Die RLT-Richtlinie 1 definiert die neue Energieeffizienzauszeichnung für raumlufftechnische Geräte, die unabhängig von der Gesamtanlage (d.h. RLT-Gerät inkl. Luftverteilsystem) eine Beurteilung zulässt. Die Geräte-Energieeffizienzklassen sind abhängig von:

- Luftgeschwindigkeit
- Elektrische Leistungsaufnahme
- Wärmerückgewinnungsklassen

Die Einteilungskriterien für die Energieeffizienzklassen sind:

Tabelle 6.10: Tabelle 2: Kriterien für die Effizienzklassen (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Kriterien/Effizienzklassen	A	B
Geschwindigkeitsklassen		
– ohne thermodynamische Luftbehandlung	V4	V5
– mit Lufterwärmung	V3	V4
– mit weiteren Funktionen und Luftmengen < 3 m ³ /s	V3	V4
– mit weiteren Funktionen und Luftmengen ≥ 3 m ³ /s	V2	V3
Elektrische Leistungsaufnahme $P_{\text{INPUT max.}} \times \text{Faktor}$	0,95	1,0
Wärmerückgewinnungsklassen	H2	H3

Erfüllt ein RLT-Gerät alle Kriterien innerhalb der Energieeffizienzklassen A oder B und wird der Hersteller vom TÜV-SÜD überwacht und zertifiziert, dürfen die unten stehenden Label verwendet werden (vgl. RLT-Richtlinie 1).



Abbildung 6.33: Energieeffizienzklassen A und B (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Die geforderten Werte sind in keinem der Bereiche besonders anspruchsvoll. So entspricht z.B. das Stromeffizienzkriterium bei Druckverlusten von über rd. 400 Pa in etwa der Klasse SFP 3 nach EN 13779:2008, welche in Österreich durch die Richtlinie 6 gar nicht mehr erlaubt ist. Dennoch ermöglicht das System einen reinen Gerätevergleich. Es sollte aber auf alle Fälle zumindest die Klasse A eingesetzt werden.

- Luftgeschwindigkeit:

Tabelle 6.11: Geschwindigkeitsklassen für Lüftungsgeräte nach EN 13053 (2007) (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Klasse	Geschwindigkeit im Gerät [m/s]
V1	max. 1,5
V2	> 1,5 bis 2,0
V3	> 2,0 bis 2,5
V4	> 2,5 bis 3,0
V5	Keine Anforderungen

- Wärmerückgewinnungsklassen: Die Einteilung der Wärmerückgewinnungsklassen entspricht der ÖNORM EN 13053:2007 (siehe Absatz 6.8.1.2).

- Elektrische Leistungsaufnahme: Die zulässige elektrische Leistungsaufnahme wird nach folgender Systematik ermittelt:

Tabelle 6.12: Elektrische Leistungsaufnahme nach RLT-Richtlinie 1 (2007)

Abhängig vom jeweiligen Luftvolumenstrom und der statischen Druckerhöhung des Ventilators	
$P_{\text{Input max.}} = \left(\frac{\Delta p_{\text{stat.}}}{450} \right)^{0,925} \times (q_v + 0,08)^{0,95}$	
$P_{\text{Input max.}}$ [kW]	elektrische Leistungsaufnahme
$\Delta p_{\text{stat.}}$ [Pa]	statische Druckerhöhung Ventilator
q_v [m ³ /s]	Luftvolumenstrom
Faktoren für die Energieeffizienzklassen	
Klasse A: 0,95 x $P_{\text{Input max.}}$	
Klasse B: 1,00 x $P_{\text{Input max.}}$	

Wie bereits angesprochen entspricht bei einem Druckverlust von 400 Pa und einem angenommenen Luftvolumenstrom von 10.000 m³/h die Anforderung der Klasse SFP 3 ($P_{\text{Input max.}} = 2,43$ kW was einer spezifischen Ventilatorleistung von 875 W/(m³/s) entspricht. Multipliziert mit dem Faktor 0,95 für die Klasse A ergibt sich eine Anforderung von 831 W/(m³/s), d.h. SFP 3 nach ÖNORM EN 13779:2008).

6.9 Möglichkeiten der Einsparung von el. Energie bei Lüftungsanlagen¹⁹

Die Elektroenergieeinsparung ist neben der Wärmerückgewinnung das beherrschende Thema zum gesamten Komplex der Energieeinsparung in raumluftechnischen Anlagen.

Prinzipiell sind zur Reduzierung des Elektroenergiebedarfs folgende Maßnahmen möglich:

6.9.1 Auslegung und Dimensionierung der raumluftechnischen Anlage

1.) Die Luftmenge soll so groß wie nötig, aber so klein wie möglich gewählt werden. Ein Überdimensionieren führt zu einer unwirtschaftlichen Anlage.

- Die Auslegung soll nach Komfortmaßstäben und nach dem Außenluftbedarf und/oder nach der abzuführenden Schadstoffkonzentration (z.B. CO₂) erfolgen.
- Die Auslegung der RLT-Anlage kann nach der zuzuführenden Heizlast bzw. abzuführenden Kühllast unter Berücksichtigung statischer Heiz- bzw. Kühlsysteme dimensioniert werden. Wird die gesamte Wärmelast bzw. Kühllast über die Raumluftechnik abgeführt, erhöhen sich die Volumenströme und damit der Energiebedarf erheblich. (Nicht empfohlen!)

2.) Die aktuelle Luftmenge muss bedarfsgerecht über die Drehzahl der Ventilatoren angepasst werden (Drehzahlregelung). Die Leistungsaufnahme sinkt in der dritten Potenz zur Drehzahl!

- Eine Leckage der Anlage soll vermieden, bzw. minimiert werden
- Leckagen erhöhen die zu transportierende Luftmenge
- Leckagen erhöhen den Wärme- und Kältebedarf

3.) Die Anlage soll großzügig ausgelegt werden.

- Die externen Widerstände sollen dabei minimiert werden.

¹⁹ Vgl. www.rlt-geraete.de; Stand 02.2008

6.9.2 Auslegung und Dimensionierung des raumluftechnischen Gerätes

1.) Die einzelnen Komponenten des RLT-Gerätes können optimiert werden:

- Die internen Widerstände sollen dabei minimiert werden. Dies kann z.B. generell durch die Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit im RLT-Gerät erfolgen (z.B. Verwendung der Klasse V1 nach EN 13053:2007).
- Bei der Auslegung der Komponenten des RLT-Gerätes sind niedrige Druckverluste der Komponenten anzustreben.
- Die optimale Positionierung von Komponenten (z.B. trockener Kühler druckseitig, feuchter Kühler saugseitig, etc.) kann den Energieverbrauch beeinflussen.
- Die Anzahl der Komponenten können minimiert werden: z.B. durch den Entfall von Komponenten (z.B. Tropfenabscheider) durch eine optimierte Dimensionierung.

2.) Das Antriebssystem kann optimiert werden:

- Die Verwendung direktgetriebener Systeme (keine Riemenantriebe)
- Die Verwendung von Ventilatoren mit hohem Wirkungsgrad verbessert die Effizienz des Antriebs. Hier ist vor allem darauf zu achten, dass der Wirkungsgrad bezogen auf die statische, also auf die verfügbare Druckerhöhung groß ist.
- Ventilatoren mit niedrigen dynamischen Druckanteilen (z.B. freilaufende Räder) erhöhen den Wirkungsgrad, da dynamische Druckanteile meist nicht zurück gewonnen werden können.
- Motoren mit erhöhtem Wirkungsgrad (z.B. EC-Motor)
- Die Verwendung einer integrierten Drehzahlsteuerung bildet die Grundlage der bedarfsgerechten Volumenstromanpassung.
- Verwendung von integrierten Mess- und Regelsystemen:
 - o Z.B. die Nutzung einer integrierten Volumenstrommessung zur optimalen Anpassung des Betriebszustands.
 - o Nutzung integrierter bedarfsgerechter Regelsysteme.

6.9.3 Gesamtenergetische Bewertung der elektrischen Energie

Die Gesamtheit aller Maßnahmen beeinflusst den Energiebedarf der Anlage. Diese betrifft:

- Die Komplexität der gewünschten Luftbehandlungseinheiten (Mit der Anzahl der geforderten Komponenten steigt der Energiebedarf).
- Die Dimensionierung der gewünschten Komponenten. Optimierte Komponenten reduzieren den Energiebedarf.

Letztlich kann der Elektroenergiebedarf für den Lufttransport in der spezifischen Ventilatorleistung zusammengefasst werden (siehe energetische Kennwerte).

7 Untersuchung auf flüchtige organische Verbindungen (VOC)

7.1 Probenahme und Analytik der VOC-Untersuchung

Die untersuchten Klassenräume wurden mindestens vier Stunden vor der Probenahme verschlossen und anschließend nicht gelüftet, die Probenahme erfolgte in der Regel bei Normalbetrieb der raumluftechnischen Anlage in den Morgenstunden. Dies bedeutet, dass unter Umständen die Anlage erst knapp vor dem Probenahmebeginn eingeschaltet wurde.

Messplanung und Probenahmestrategie folgten den VDI-Richtlinien 4300 Blatt 1 und Blatt 6. Die Sammlung der flüchtigen organischen Verbindungen erfolgte laut ÖNORM M 5700-2 durch Adsorption an ein Adsorbens, wobei ein definiertes Luftvolumen durch ein Adsorptionsröhrchen (SKC, Anasorb 747) gesaugt wurde. Die Probenahme erfolgte in Raummitte in einer Höhe zwischen 1,2 und 1,5 m bei einem Probenahmevervolumen von etwa 0,1 m³. Anschließend wurden die Adsorbentien in einem VOC-freien Transportgefäß an das Labor des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie zur chemischen Untersuchung gesendet.

Die chemische Untersuchung erfolgte nach ÖNORM M 5700-2. Die Aktivkohle wurde aus dem Adsorptionsröhrchen entnommen und mit Schwefelkohlenstoff (CS₂) eluiert. Der gewonnene CS₂-Extrakt gelangte direkt zur quantitativen Analyse. Die einzelnen flüchtigen organischen Verbindungen wurden mittels Kapillargaschromatographie mit gekoppeltem Massenspektrometer (Shimadzu QP 5000) unter Verwendung einer Kapillarsäule (HP-VOC Fa. HEWLETT PACKARD) gegen externe und interne Standards bestimmt. Die vom Detektor erhaltenen Signale wurden elektronisch aufgezeichnet, wobei die Quantifizierung über die Peakflächen erfolgte. Unbekannte Substanz(en) wurde(n) mit der geräteinternen Identifizierungs-Software (Datenbank NIST 62) identifiziert und über den Kalibrierstandard Toluol quantifiziert. Die Messunsicherheit wird mit +/- 20 % abgeschätzt.

Es werden lediglich die Summenkonzentrationen angegeben, die sich aus der Summe der mittels externen Standards ermittelten Konzentrationen der standardmäßig quantifizierten 50 Einzelverbindungen, sowie der Konzentrationen der über den Kalibrierstandard Toluol ermittelten unbekanntem Verbindungen ergaben. Die angegebenen Konzentrationen wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Da die Wiederfindungsraten bei unbekanntem Verbindungen unbekannt sind, bildet die durchgeführte Analyse in der Regel nur eine halbquantitative Abschätzung, das heißt, die tatsächlichen Werte für die Summe VOC können von den angegebenen Werten abweichen.

7.2 Beschreibung der Proben und Ergebnisse zur VOC-Untersuchung

Tabelle 7.1: Daten der Innenraumluftprobenahmen flüchtiger organischer Verbindungen geordnet nach aufsteigenden Konzentrationen

Nummer	Probenahme-Zeitraum	Summe-VOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	6:50–7:40	<40
2	6:00–7:00	<40
3	7:15–7:45	<40
4	6:15–7:15	<40
5	7:45–8:20	<40
6	7:10–7:45	<40
7	7:20–7:55	<40
8	6:15–7:15	50
9	7:20–7:55	80
10	7:10–7:45	160
11	7:25–8:05	200
12	6:00–7:00	250
13	6:30–7:30	360
14	6:00–6:45	430
15	7:15–7:55	490
16	6:15–7:15	560

^a Das Sammelvolumen ist auf die bei der Messung herrschenden Temperatur- und Luftdruckbedingungen bezogen.

Für die Summe-VOC ergab sich ein Mittelwert von $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (für Werte unter der Bestimmungsgrenze wurde mit der halben Bestimmungsgrenze von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet) und ein Median von $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der niedrigste Wert lag unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der höchste bei $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anmerkung dazu siehe Bewertung).

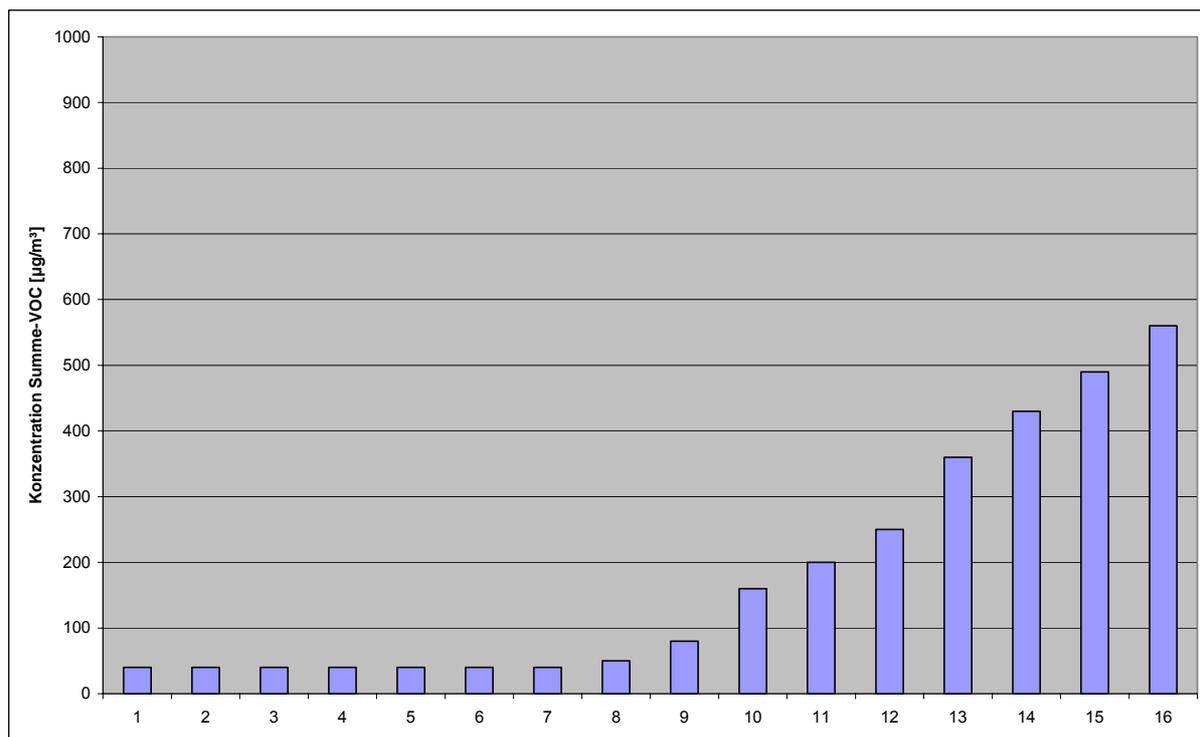


Abbildung 7.1: Grafische Darstellung der Ergebnisse Summe-VOC geordnet nach aufsteigenden Konzentrationen

7.3 Beurteilung der VOC-Konzentration in der Raumluft

7.3.1 Beurteilungsgrundlagen für VOC

Ein Vergleich mit durchschnittlichen Innenraumkonzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen beruht auf Angaben in der Literatur (Krause et al. 1991; Schlei-binger et al. 2001) und aus eigenen Untersuchungen.

Grenzwerte für flüchtige organische Verbindungen in der Luft von Innenräumen²⁰ sind in Österreich nicht vorhanden. In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft werden Vorgangsweisen zur Beurteilung von VOC in Innenräumen festgelegt (BMLFUW 2006). Ziel dieser Richtlinie ist es, eine österreichweit einheitliche Erfassung und Bewertung der Innenraumluft zu ermöglichen.

²⁰ Innenräume definiert in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4300 Blatt 1, dies beinhaltet auch Räume an Arbeitsplätzen, die nicht im Hinblick auf den interessierenden Luftschadstoff arbeitnehmerschutzrechtlichen Bestimmungen unterliegen.

Aus kontrollierten Wirkungsstudien mit VOC-Gemischen definierter Zusammensetzung kann geschlossen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender Gesamtkonzentration des Gemisches, ausgedrückt als VOC-Gesamtkonzentration, zunimmt. Wegen der Variabilität der Zusammensetzung des VOC-Spektrums und der daraus resultierenden Vielfalt möglicher Wirkungsendpunkte lassen sich jedoch keine abgesicherten Dosis-Wirkungs-Beziehungen angeben. Mit steigender Konzentration nimmt jedoch die Wahrscheinlichkeit zu, dass sich spezifische Quellen an VOC in den jeweiligen Innenräumen befinden.

Aufgrund der beschriebenen Einschränkungen der Aussagekraft eines VOC-Summenparameters werden in der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft keine Richt-, sondern Orientierungswerte vorgeschlagen (BMLFUW 2006). Diese Orientierungswerte basieren nicht auf einer toxikologischen Ableitung, sondern spiegeln die in der Praxis auftretenden Konzentrationsbereiche wider. Der VOC-Summenparameter eignet sich demnach nicht als Kriterium für eine allfällige gesundheitliche Bewertung, sondern ist vielmehr als einer der Indikatoren für die Gesamtsituation anzusehen. Kanzerogene und Geruchsstoffe sowie Verbindungen, für welche Einzelstoffbewertungen vorliegenden, sind dabei einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen.

Es existieren weiters deutsche Orientierungswerte für TVOC (total volatile organic compounds nach ECA 1997). Auch diese Werte stellen alleine keine toxikologisch abgeleiteten Werte im Sinne von wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerten dar, geben jedoch Vorgaben zur möglichen Nutzung der Räume bei höheren Konzentrationen an VOC.

Tabelle 7.2: Österreichische und deutsche Orientierungswerte für „Gesamt VOC“ bzw. TVOC

Bezeichnung	Bewertung der Konzentration	Raumluftkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bemerkungen
Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2006)	Niedrig	< 250	Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig
	Durchschnittlich	250 ... 500	
	Leicht erhöht	500 ... 1.000	
	Deutlich erhöht	1.000 ... 3.000	
	Stark erhöht	> 3.000	
Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB (2007) definiert für TVOC	Hygienisch unbedenklich	< 300	
	Hygienisch noch unbedenklich	300 ... 1000	Unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen vorliegen
	Hygienisch auffällig	1.000 ... 3.000	Nutzung nur befristet akzeptabel (< 12 Monate)
	Hygienisch bedenklich	3.000 ... 10.000	Nutzung nur befristet akzeptabel (< 1 Monat)
	Hygienisch inakzeptabel	> 10.000	Raumnutzung möglichst vermeiden

7.3.2 Bewertung der Ergebnisse der VOC-Untersuchung

In der Luft der untersuchten Klassenräume wurden für Innenräume typische flüchtige organische Verbindungen (VOC) in, mit Ausnahme eines Klassenraumes einer Schule, nicht auffälligen Konzentrationen nachgewiesen. In einem Klassenraum wurde 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan als dominierende Einzelsubstanz in relativ hoher ($390 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Konzentration nachgewiesen, wodurch in diesem Raum etwa 2/3 des Gesamtwertes an „Summe-VOC“ alleine von dieser Substanz abgedeckt wurde. Die Konzentrationen der übrigen VOC in diesem Klassenraum waren ebenfalls als unauffällig anzusehen.

Die festgestellten Gesamtkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen waren mit Ausnahme dieses Klassenraumes nach dem österreichischen Schema zur Bewertung der VOC-Summenkonzentrationen als „niedrig“ bis „durchschnittlich“ einzustufen. Die Summenwerte lagen in 12 der 16 untersuchten Räumen im empfohlenen Zielbereich von bis zu etwa 0,3 mg/m³, wobei dieser Zielbereich als langfristig anzustrebender, hygienischer Vorsorgebereich zu verstehen ist, in 3 der untersuchten Räume im Bereich unter 500 µg/m³ (durchschnittlich). In dem Klassenraum, in dem die Einzelsubstanz 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan in erhöhter Konzentration detektiert wurde, ist eine Bewertung der VOC-Summenkonzentrationen auf Grund des Vorhandenseins der stark dominierenden Einzelverbindung nicht sinnvoll. Der Herkunft (Quelle) dieser Substanz wurde im Zuge der vorliegenden Untersuchung nicht nachgegangen, es ist jedoch möglich, dass es sich um einen Bestandteil eines Pflegepräparates handelt.

Wenn man die Summenwerte als TVOC-Werte definiert (wobei vereinfachend angenommen wird, dass die gegenständlichen Summenwerte nicht stark von den TVOC-Werten abweichen würden, siehe dazu Hodgson 1995) und dem Schema der deutschen Ad-Hoc Arbeitsgruppe unterwirft, würde die Raumluft in allen untersuchten Klassenräumen als „hygienisch (noch) unbedenklich“ klassifiziert werden, da keine Richtwerte überschritten wurden.

7.3.3 Vergleich der Ergebnisse der VOC-Untersuchung mit anderen Studien

Die Ergebnisse der meisten in Bezug auf VOC durchgeführten Studien können aufgrund unterschiedlicher Probenahmestrategien nicht direkt mit vorliegenden Ergebnissen verglichen werden, eine ungefähre Einschätzung der Größenordnungen der auftretenden Konzentrationen ist jedoch möglich.

Für Gesamt-Österreich sind mit Ausnahme einzelner nicht für die Gesamtsituation repräsentativer Studien nur eine repräsentative Untersuchung von VOC in Schulen veröffentlicht worden (Brandl et al. 2001). Dabei wurden oberösterreichische Schulgebäude unterschiedlicher Baujahre mit natürlicher Belüftung berücksichtigt.

In der Untersuchung von Brandl et al. 2001 waren folgende Objekte enthalten:

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

Zur Bestimmung bestimmter Aspekte der Innenraumluftqualität wurden vor Schulbeginn in je 2 Klassenräumen pro Schule punktuelle Messungen von unter anderem flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) durchgeführt. Ausgewertet wurden insgesamt 18 Räume. Für die Summe-VOC ergab sich ein Mittelwert von $830 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und ein Median von $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der niedrigste Wert lag bei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der höchste bei $3400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Vergleich mit den Ergebnissen dieser repräsentativen Studie in Schulen ohne Lüftungsanlage sind die in der gegenständlichen Studie ermittelten VOC-Summenkonzentrationen bei Schulen mit Klassenzimmerlüftungen als deutlich niedriger zu bewerten.

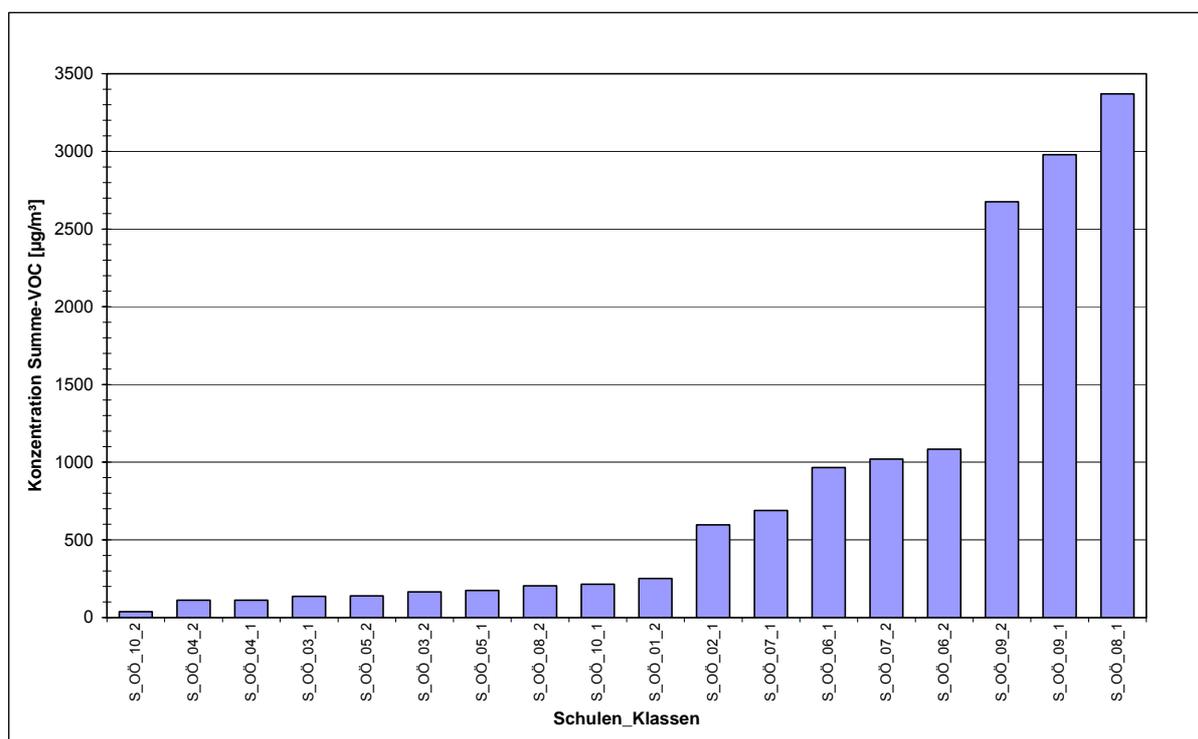


Abbildung 7.2: Grafische Darstellung der Ergebnisse von Brandl et al. 2001 (es ist die unterschiedliche Skalierung der Werteachse zu beachten)

In oberösterreichischen Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen wurden bis dato zwei Untersuchungen in insgesamt 49 Schulklassen und 7 Kinderbetreuungseinrichtungen durchgeführt, wobei die Räume nicht als repräsentativ angesehen werden können (Land OÖ 2003a; Land OÖ 2003b). In den Schulen ergab sich für die Summe-VOC ein Mittelwert von $730 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und ein Median von $475 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der niedrigste Wert lag bei $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der höchste bei $3400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Vergleich mit den Ergebnissen dieser nicht repräsentativen Studie in Schulen (die allerdings eine hohe Anzahl von Räumen umfasste), sind die in der gegenständlichen Studie von Klassenzimmern mit mechanischer Lüftungsanlage ermittelten VOC-Summenkonzentrationen ebenfalls als deutlich niedriger zu bewerten.

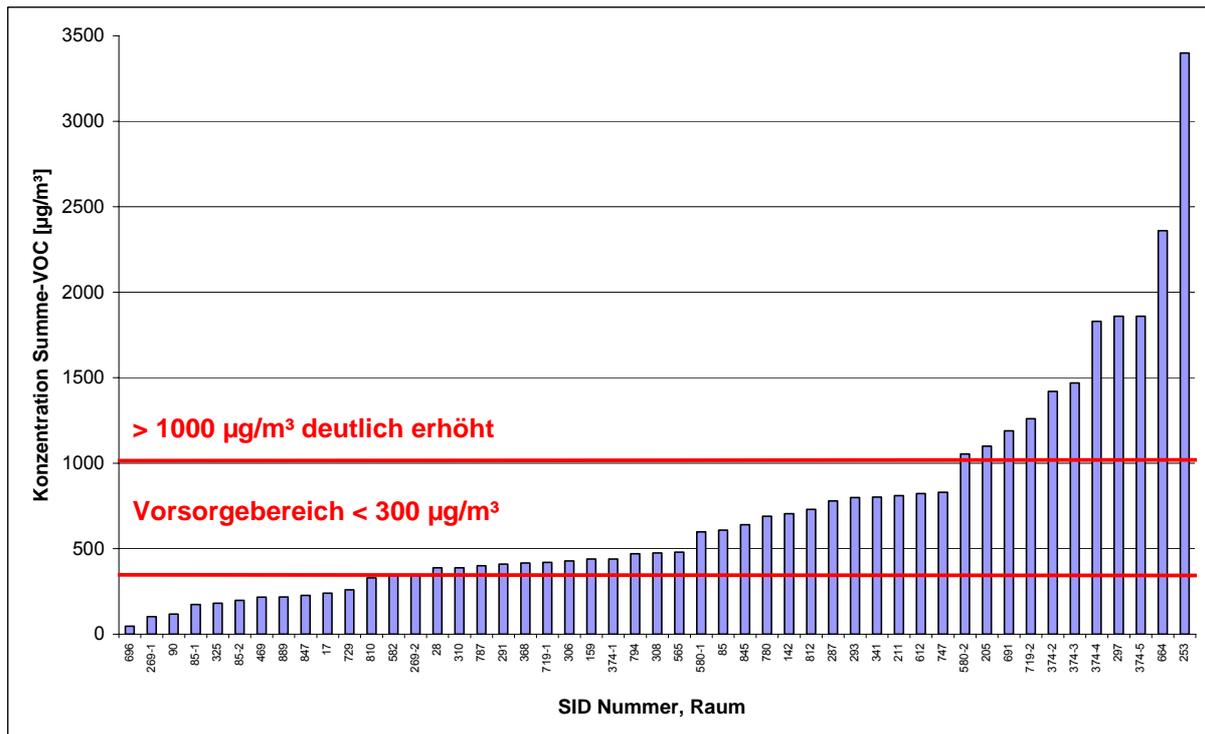


Abbildung 7.3: Grafische Darstellung der Ergebnisse von Land OÖ 2003a (es ist die unterschiedliche Skalierung der Werteachse zu beachten)

Da sich die verwendeten Materialien für die Raumausstattung zwischen Schulen/Kindergärten und Wohnräumen nicht prinzipiell unterscheiden, können auch Ergebnisse einer Messserie in 160 repräsentativ ausgewählten Wiener Wohnungen von der Größenordnung her als Vergleich herangezogen werden (Hutter et al. 2002). Die Werte für Summe-VOC reichten von 11 bis 6045 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Median 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 76 % der Werte ($n=131$) lagen unter 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 5 Werte (3 %) überschritten 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Vergleich mit den Ergebnissen dieser repräsentativen Studie in Wohnräumen, sind die in gegenständlicher Studie ermittelten VOC-Summenkonzentrationen ebenfalls als deutlich niedriger zu bewerten.

Der 1985/86 in Deutschland durchgeführte Umwelt-Survey, der die durchschnittliche Belastung für Wohnungen in den Achtzigerjahren (Krause et al. 1991) zeigt, kann ebenfalls Orientierungswerte liefern. Auch hier zeigten sich im Durchschnitt höhere Werte als die in der gegenständlichen Studie ermittelten.

8 Akzeptanzanalyse

8.1 Vorgangsweise

Im Rahmen des Projektes wurden in den 16 Schulen und Kindergärten, die in die Untersuchung einbezogen worden sind, im Rahmen der technischen Evaluierungen Befragungen zur Akzeptanz der Lüftungsanlagen bei LehrerInnen und SchülerInnen durchgeführt (zusätzlich gab es noch eine 17. „Ersatzanlage“, die hier in den Auswertungen berücksichtigt ist). Speziell befragt wurden die Schulwarte und Hausmeister, welche die Lüftungsanlagen in den Gebäuden betreuen sowie die ArchitektInnen, PlanerInnen und Eigentümer der Anlagen.

Insgesamt konnte die folgende Anzahl an Fragebögen erreicht werden:

- 1) LehrerInnen: 128
- 2) SchülerInnen: 268
- 3) Haus- und Schulwarte: 12
- 4) ArchitektInnen, PlanerInnen, Eigentümer: 31.

Aufgeschlüsselt auf die einzelnen Schulen ergibt sich ein Bild, wie in Tab. 8.1 dargestellt.

In den Schulen wurden anwesende und erreichbare SchülerInnen und LehrerInnen während der technischen Begutachtung der automatischen Lüftungsanlagen befragt. Die Fragebögen der Schulwarte und Hausmeister wurden gemeinsam mit den technischen Betreuungspersonen ausgefüllt. Die Antworten der ArchitektInnen, PlanerInnen und Eigentümer wurden telefonisch erhoben.

Die Fragebögen wurden im Projektteam gemeinsam bearbeitet, abgestimmt und dann finalisiert. Die Auswertung erfolgte mit dem Statistik-Programmpaket SPSS. Die jeweiligen Fragebögen für SchülerInnen, LehrerInnen, Schulwarte und ArchitektInnen, PlanerInnen, Eigentümer finden sich im Anhang.

8.2 Ergebnisse

Im Folgenden wird eine Gesamtdarstellung der Ergebnisse aus den Fragebögen gegeben, die keine Rückschlüsse auf einzelne Schulen zulassen. Rückmeldungen zu den Auswertungen gingen direkt an die Schulen. Es können wegen der Länge des Fragebogens auch nicht alle Antworten dargestellt werden, die wichtigsten und interessantesten finden sich in dieser Auswertung.

Tabelle 8.1: Rücklauf der Fragebögen aufgeschlüsselt nach Schulen

Schule/ Kindergarten	Schulwart/ Hausmeister	Architekten/ Planer/ Eigentümer	LehrerInnen	SchülerInnen
1 KG Graz	-	1	1	-
2 KG Klagenfurt	-	2	2	-
3 KG Lustenau	1	3	1	-
4 KG Ziersdorf	-	1	9	-
5 VS Ainet	1	3	6	19
6 VS Ludesch	1	1	7	16
7 VS Stephanshart	-	-	4	1*
8 Öko-HS Mäder	1	3	17	24
9 HS Mauthausen	1	1	11	23
10 HS Oberneunkirchen	1	1	8	20
11 HS Paznaun	1	3	14	28
12 HS Anonym	1	2	14	29
13 HS Schwanenstadt	1	2	13	45
14 LLA St. Johann/T	1	3	8	31
15 BRG Purkersdorf	1	1	6	18
16 WISB Bramberg	1	3	6	14
Gesamt	12	30	127	268

*alle VolksschülerInnen wurden gesammelt befragt

Für eine Anlage die nicht in der Evaluierung enthalten war, wurde ebenfalls ein Fragebogen für LehrerInnen und für Architekten/Planer/Eigentümer in die Auswertung einbezogen, d.h. LehrerInnen 128 bzw. Architekten/Planer/Eigentümer 31 Fragebögen.

8.2.1 Ergebnisse der Befragung der LehrerInnen

Bei den LehrerInnen konnten insgesamt 128 auswertbare Fragebögen erreicht werden.

8.2.1.1 Bewertung der Lüftungsanlage

Zum Einstieg wurden die LehrerInnen nach ihrer Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage befragt, nämlich zu Beginn – d.h. zum Zeitpunkt der Installation der Anlage – und jetzt – d.h. zum Zeitpunkt der Befragung. Es zeigt sich, dass der Anteil der sehr Zufriedenen und eher Zufriedenen in diesem Zeitraum gestiegen ist, derjenigen der eher Unzufriedenen gesunken und derjenige der sehr Unzufriedenen in etwa gleich geblieben ist. Die Zufriedenheitsmarke („sehr zufrieden“ und „eher zufrieden“ gemeinsam) lag bei Installation der Anlage bei insgesamt 42 %, zum Zeitpunkt der Befragung bei insgesamt 56 % (vgl. Abb. 8.1).

Was die Zuverlässigkeit der Anlage betrifft, meinen insgesamt 58 % der LehrerInnen, dass die Anlage sehr oder eher zuverlässig ist, 42 % meinen, sie sei eher unzuverlässig oder sehr unzuverlässig (vgl. Abb. 8.2).

Die Bedienerfreundlichkeit der Lüftungsanlage wird von ca. der Hälfte der Befragten als sehr gut oder eher gut eingestuft, von der anderen Hälfte als eher schlecht oder sehr schlecht (vgl. Abb. 8.3).

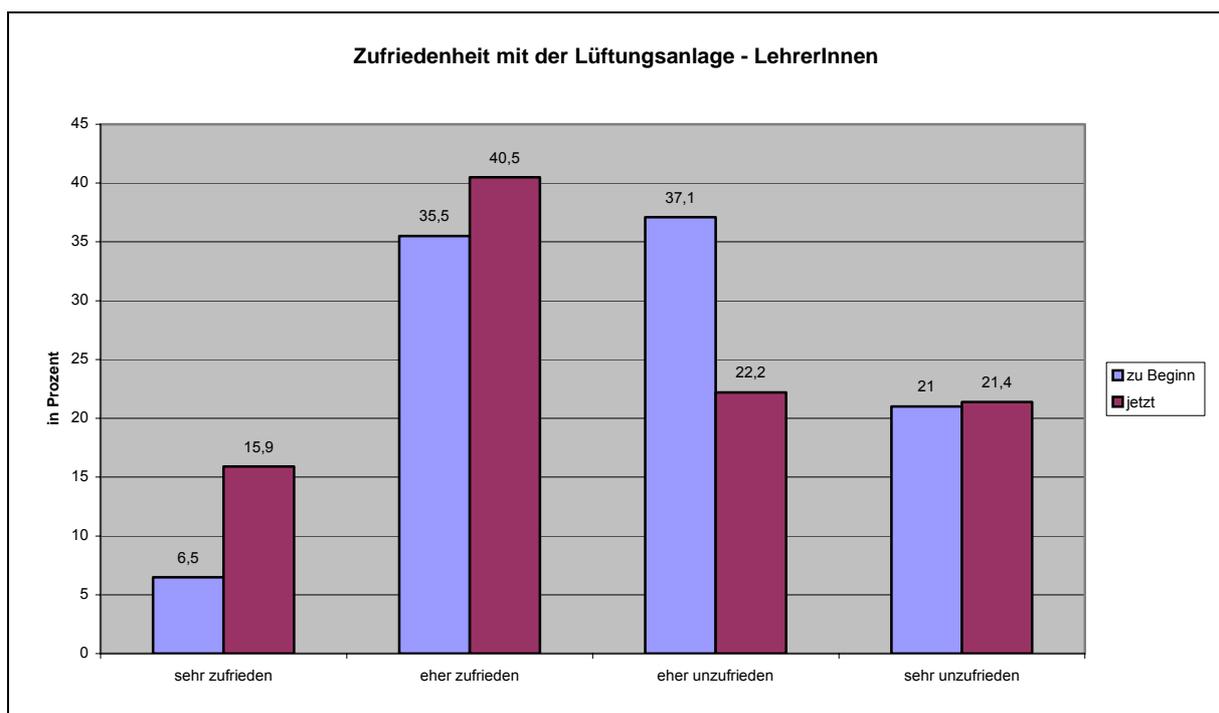


Abbildung 8.1: Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage zu Beginn und jetzt – LehrerInnen

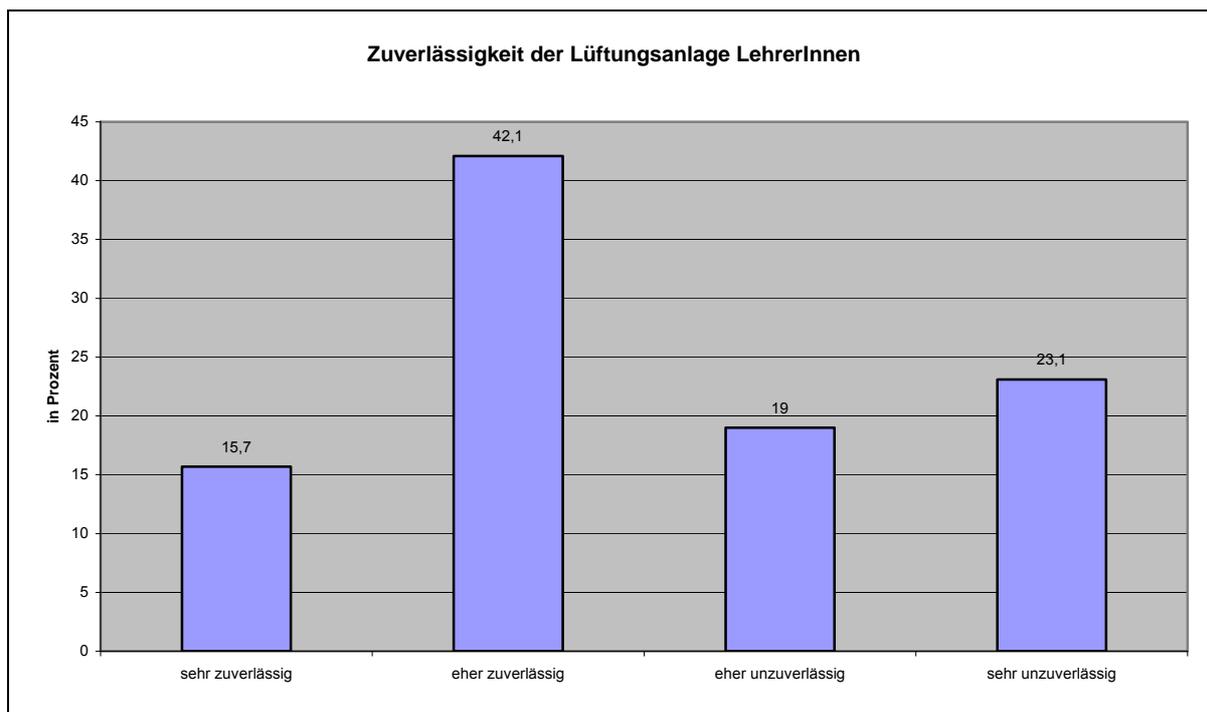


Abbildung 8.2: Zuverlässigkeit der Lüftungsanlage – LehrerInnen

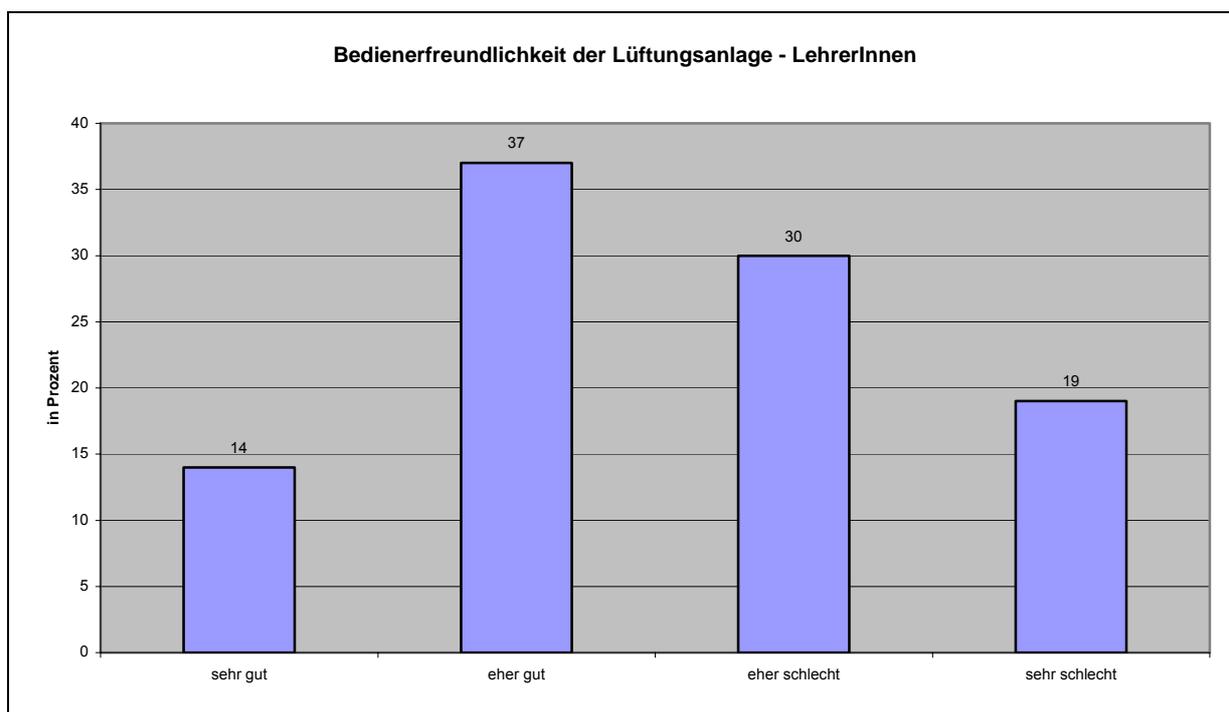


Abbildung 8.3: Bedienerfreundlichkeit der Lüftungsanlage – LehrerInnen

Allerdings haben nur 30 % der LehrerInnen das Gefühl, die Möglichkeiten der Lüftungsanlage sehr oder ausreichend nutzen zu können, die anderen 70 % nicht.

Bei der Frage nach Problemen, die in der Schule wegen der Lüftungsanlage aufgetreten sind, werden vorwiegend genannt (vorgegebene Kategorien, Mehrfachantworten): Überhitzung in den Klassen (50 %), die Luftqualität in den Klassen (44 %) sowie die zu geringe Wärmeversorgung in den Klassen (34 %). Geruchsbelästigung (24 %) und Zugluft (21 %) spielen eine untergeordnete Rolle, kaum genannt werden durch die Lüftungsanlage verursachter Lärm und Schimmelbefall (vgl. Abb. 8.4). Hierzu muss aber angemerkt werden, dass in vielen Schulen und Kindergärten nicht über die Lüftungsanlage geheizt wird und daher Probleme mit Überhitzung oder zu geringer Wärmeversorgung nicht der Lüftungsanlage zugeschrieben werden können. Ausnahme bildet im Sommerfall eine ungünstige Wahl der Außenluftansaugung in Kombination mit einer falschen Regelstrategie (Wärmetauscher wird auch bei Temperaturen der Außenluft über der Raumtemperatur umgangen).

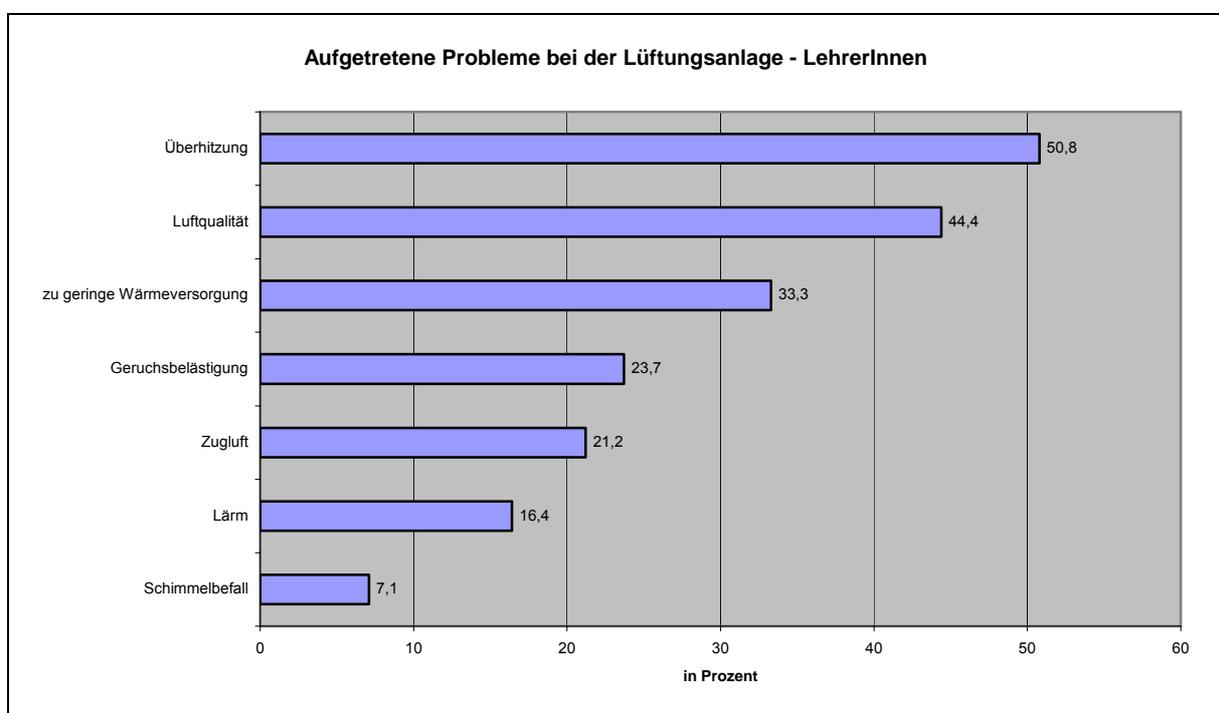


Abbildung 8.4: Aufgetretene Probleme bei der Lüftungsanlage – LehrerInnen

Falls es durch die Lüftungsanlage Probleme in der Schule gab, haben 63 % der Befragten das Gefühl, dass diese ganz oder zumindest teilweise behoben werden konnten.

8.2.1.2 Bewertung der Regelung der Lüftungsanlage

Nur ein Viertel der befragten LehrerInnen hat die Möglichkeit, die Lüftungsanlage in den Klassen zu regeln, für drei Viertel ist dies nicht möglich. Für fast alle Befragten dieses Viertels ist es möglich, die Lüftungsstärke (in verschiedenen Stufen) zu regeln, die Temperatur kann fast niemand individuell einstellen.

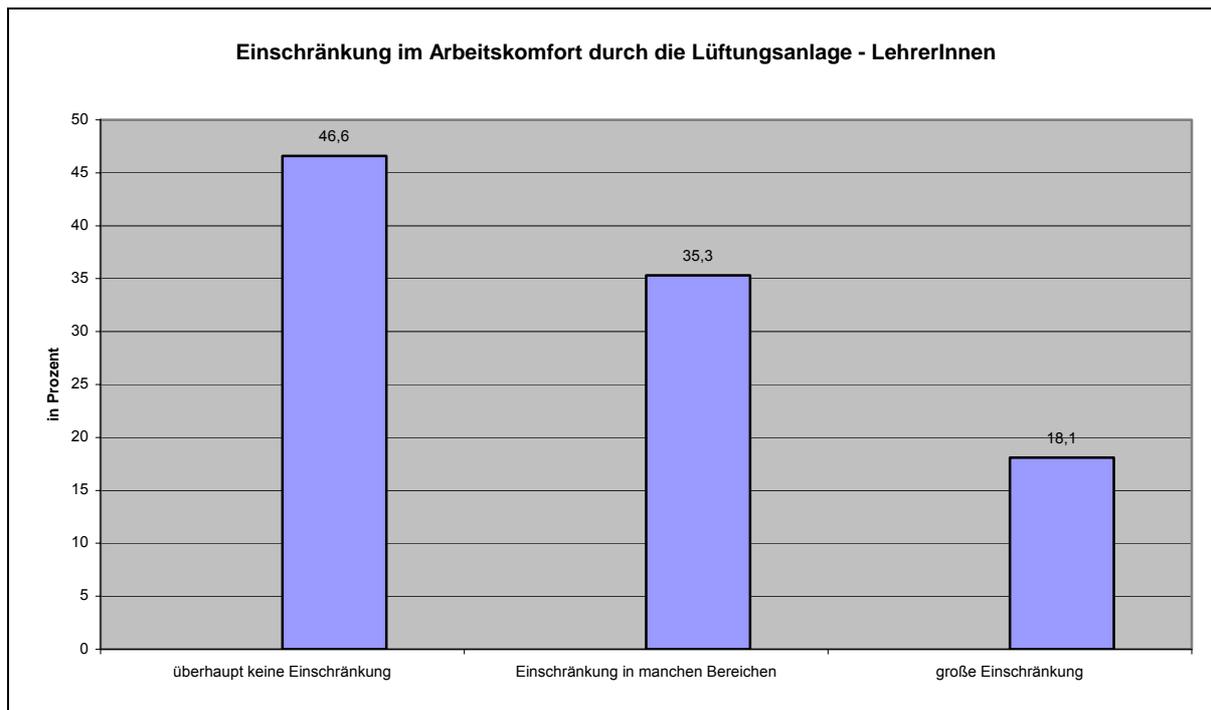


Abbildung 8.5: Einschränkung im Arbeitskomfort durch die Lüftungsanlage – LehrerInnen

Nur etwas mehr als 20 % nutzen die vorhandenen Möglichkeiten der Regelung der Lüftungsanlage. Von diesen kommen fast alle gut mit den Regelungsmöglichkeiten zurecht. Für fast 70 % sind die Regelungsmöglichkeiten genau so richtig, wie sie sind (vgl. Abb. 8.6).

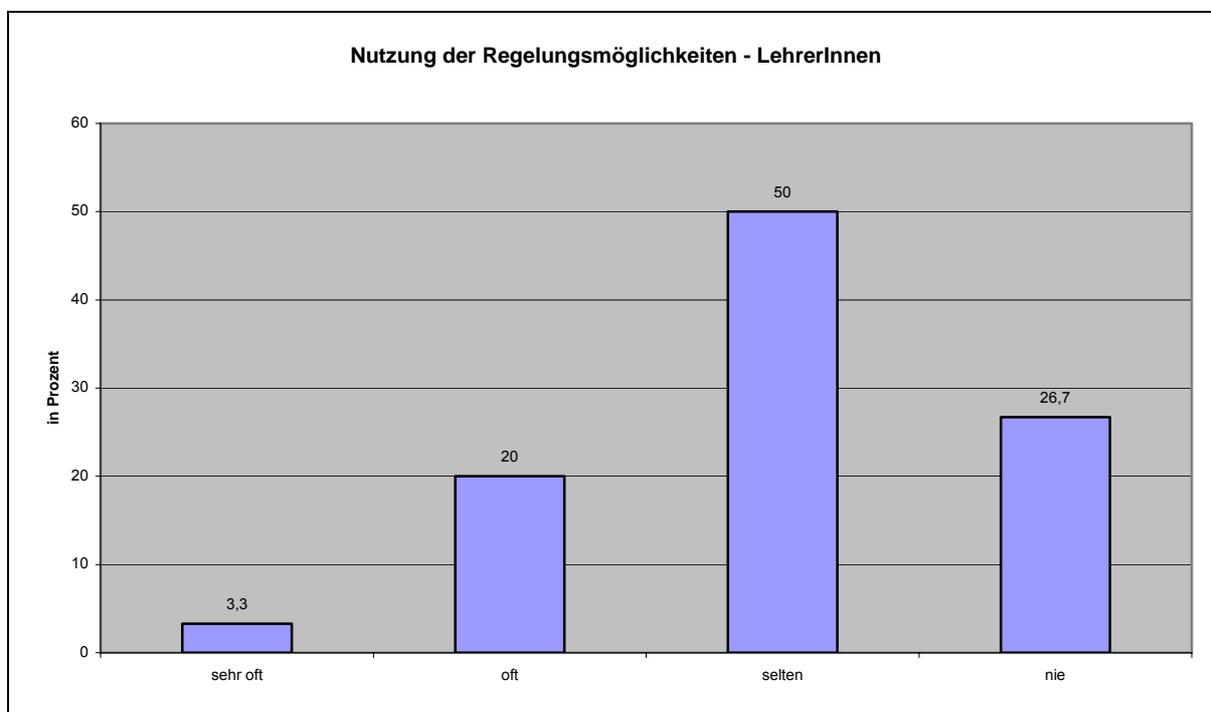


Abbildung 8.6: Nutzung der Regelungsmöglichkeiten der Lüftungsanlage – LehrerInnen

8.2.1.3 Optik der Lüftungsanlage

Die Lüftungsöffnungen in den Klassen werden nur von 10 % der Befragten als störend empfunden, von 90 % eher nicht oder gar nicht. Lüftungsrohre sind nur in ca. einem Drittel der Schulen sichtbar, diese werden aber nur von insgesamt 22 % als optisch störend empfunden. In einem Viertel der Schulen stehen Lüftungsgeräte direkt in den Klassen – wenn dies der Fall ist, wird dies aber von fast niemandem als störend empfunden.

8.2.1.4 Lüften (in der kalten Jahreszeit)

Interessant ist die Tatsache, dass auch in der kalten Jahreszeit in knapp mehr als der Hälfte der Schulen in den Pausen oder im Unterricht trotz Lüftungsanlage die Fenster geöffnet werden und gelüftet wird. Ca. 40 % dieser geöffneten Fenster sind – nach den Angaben der befragten LehrerInnen – ganz geöffnet, ca. 45 % gemischt (ganz geöffnet und gekippt) und ca. 15 % nur gekippt (diese Zahlen können natürlich nur Schätzungen sein).

8.2.1.5 Information zur Lüftungsanlage

Nur etwa ein Drittel der befragten LehrerInnen meint, ausreichend über den Umgang mit der Lüftungsanlage nach deren Installation informiert worden zu sein. Trotz Informationen zu wenig informiert fühlt sich ein weiteres Drittel, und für ein weiteres Drittel der Befragten gab es überhaupt keine Informationen (vgl. Abb. 8.7).

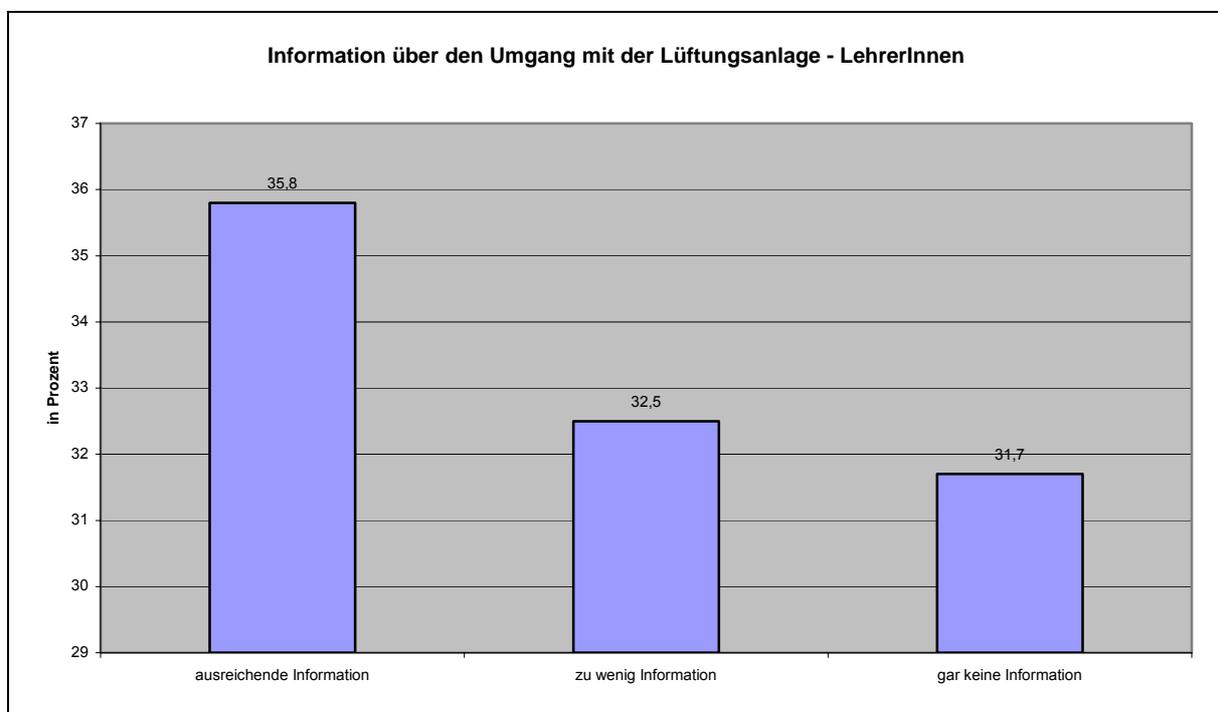


Abbildung 8.7: Information über den Umgang mit der Lüftungsanlage – LehrerInnen

Die Informationen wurden in 90 % der Fälle über persönliche Einweisungen für die LehrerInnen vor Ort vermittelt, schriftliches Informationsmaterial gab es (zusätzlich) in 20 % der Fälle. Diese Informationen werden aber nur von ca. 20 % der Befragten als mehr als ausreichend beurteilt, genau richtig im Umfang von ca. 35 %; fast die Hälfte der Befragten meint aber, diese Informationen waren nicht ausreichend (vgl. Abb. 8.8).

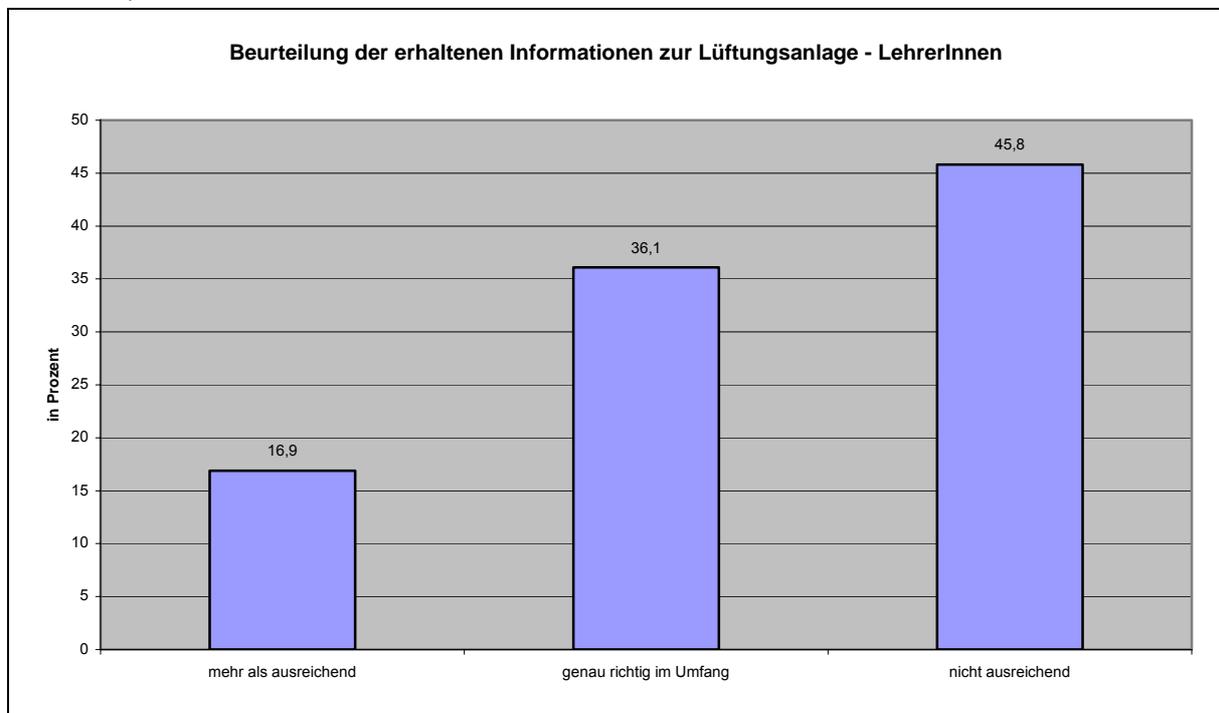


Abbildung 8.8: Beurteilung der erhaltenen Informationen zur Lüftungsanlage – LehrerInnen

Drei Viertel der Befragten wünschen sich mehr persönliche Erläuterungen vor Ort. Der Wunsch nach besser verständlichem, kompakterem oder mehr schriftlichem Informationsmaterial wird nur von 10 bis 20 % genannt.

Mehr Informationen hätten sich die Befragten vor allem bzgl. richtigem Verhalten bzw. richtigem Lüften bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage gewünscht (drei Viertel), nicht ganz die Hälfte hätte gerne mehr über Verhalten bei Problemen gewusst, 40 % mehr zur Bedienung der Lüftungsanlage und ein Viertel hätte gerne mehr Informationen zur Anlagentechnik gehabt (vgl. Abb. 8.9).

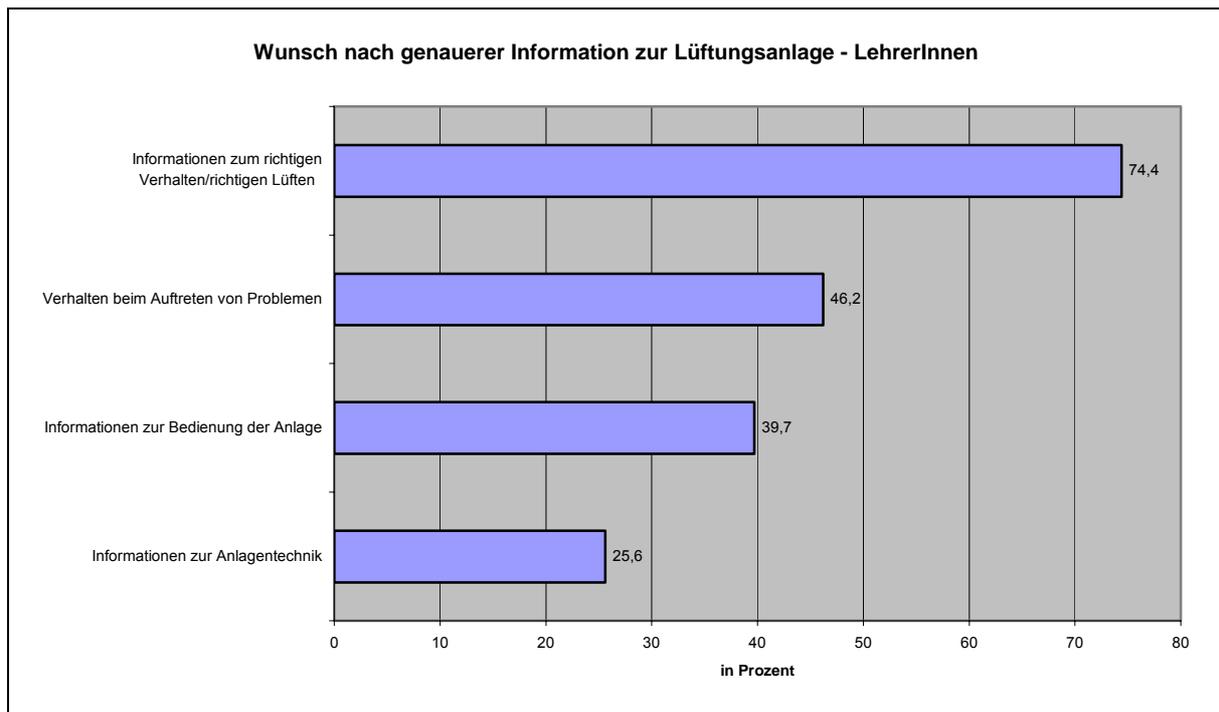


Abbildung 8.9: Wunsch nach genauerer Information zur Lüftungsanlage

44 % der Befragten meinen, ausreichend zu verstehen, wie die Lüftungsanlage funktioniert.

8.2.1.6 Einschätzung der Lüftungsanlage

Welche Eigenschaften verbinden die befragten LehrerInnen mit der Lüftungsanlage? Wofür steht eine Lüftungsanlage? Hier wurden den befragten LehrerInnen Antwortmöglichkeiten vorgegeben, Mehrfachnennungen waren möglich.

In erster Linie steht die Anlage für „neueste Haustechnik“ (über 90 % „trifft sehr zu/trifft eher zu“). An zweiter Stelle folgt „modernes Gebäude“ (90 %), am dritten Platz „ökologischer Lebensstil“ (83 %), weiters „gesundes Arbeiten und Wohnen“ (80 %) sowie „komfortable Technik“ und „gesunde Umwelt“ (jeweils 75 %), an letzter Stelle steht „gehobene Ansprüche“ (vgl. Abb. 8.10).

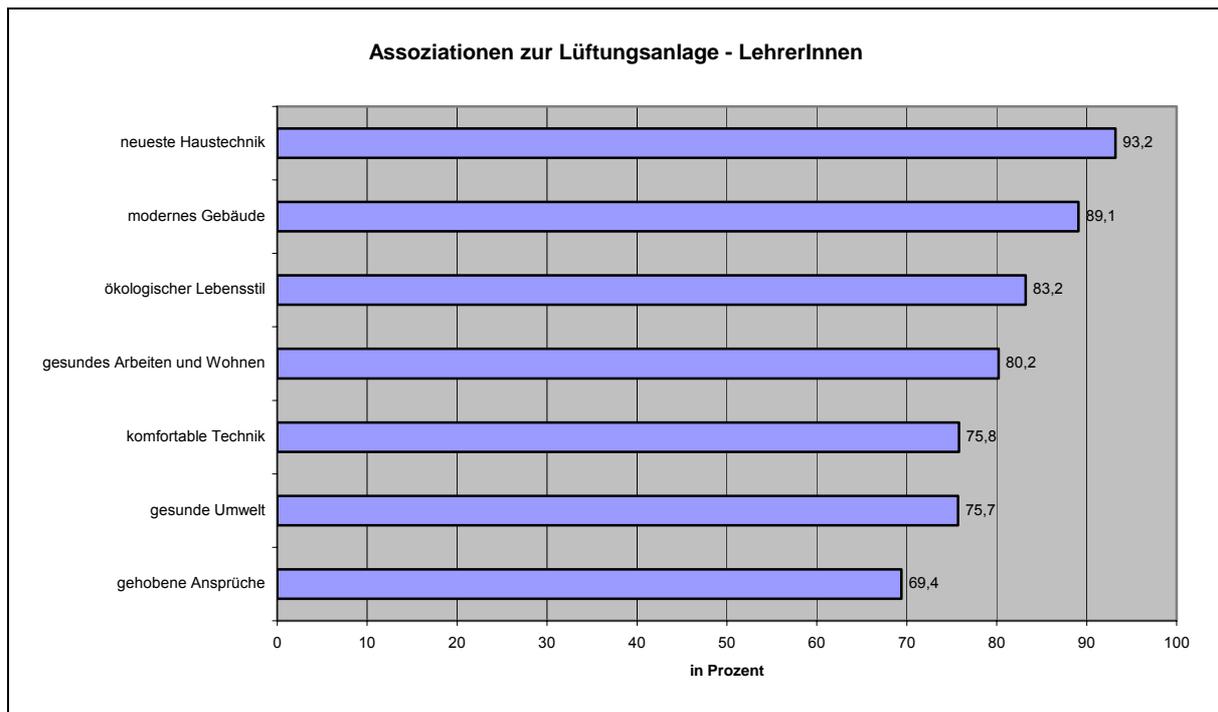


Abbildung 8.10: Assoziationen zur Lüftungsanlage – LehrerInnen

8.2.1.7 Zufriedenheit mit der Gesamtsituation

Mit dem Raumklima in der Schule sind etwas mehr als die Hälfte der befragten Lehrerinnen sehr zufrieden oder zufrieden, etwas weniger als die Hälfte unzufrieden oder sehr unzufrieden. Mit der Heizsituation an der Schule sind 63 %, also fast zwei Drittel der Befragten, sehr zufrieden oder zufrieden. Wenn Unzufriedenheit herrscht, wird als Problem genannt, dass es zu warm in der Klasse oder der Schule ist.

Durch die Lüftungsanlage in ihrem Arbeitskomfort eingeschränkt fühlen sich nur 18 % der Befragten, allerdings doch auch 35 % in manchen Bereichen ihrer Arbeitstätigkeit. Fast 50 % stellen überhaupt keine Einschränkung fest.

Wieder in einer Schule mit Lüftungsanlage würden gerne knapp 70 % der Befragten arbeiten (Kategorien „ja, auf jeden Fall“ und „ja, eher schon“). 58 % der Befragten würden auf Grund ihrer Erfahrungen raten, Lüftungsanlagen in allen Schulen einzubauen (Kategorien „ja, auf jeden Fall“ und „ja, eher schon“).

Ca. ein Drittel der befragten LehrerInnen meint, dass SchülerInnen in Klassen mit Lüftungsanlagen besser lernen als SchülerInnen, die in Klassen ohne Lüftungsanlage unterrichtet werden.

Die Bewertung der Lüftungsanlage nach dem Schulnotensystem sieht folgendermaßen aus (diese Gesamtbewertung wurde allerdings nicht in allen Schulen durchgeführt) (vgl. Abb. 8.11): Fast die Hälfte der LehrerInnen vergibt die Note „gut“, etwas mehr als 20 % die Note „befriedigend“, ca. 13 % die Note „genügend“, knapp 10 % die Note „sehr gut“ und ca. 8 % die Note „nicht genügend“.

8.2.1.8 Sozialstatistik

Fast 70 % der befragten LehrerInnen sind weiblich, nur 30 % männlich. Etwas mehr als 40 % befinden sich in der Alterskategorie zwischen 41 und 50 Jahren, jeweils ein Viertel sind zwischen 31 und 40 bzw. 51 und 60 Jahre, sehr wenige zwischen 20 und 30 Jahre alt.

8.2.2 Ergebnisse der Befragung der SchülerInnen

Im Rahmen dieses Projektes wurden zum ersten Mal SchülerInnen zu ihrer Meinung und ihrer Einstellung zu Lüftungsanlagen befragt. Dies stellt eine besondere Herausforderung dar – müssen doch die Fragen speziell auf diese Gruppe abgestimmt werden. Noch dazu kam, dass durch die große Breite der untersuchten Schulen – von Volks- über Hauptschulen bis hin zu Allgemein Bildenden oder Landwirtschaftsschulen – ein großes Altersspektrum an SchülerInnen in die Befragung einbezogen werden musste. Die untersuchten Kindergärten wurden hier nicht berücksichtigt. Die SchülerInnen wurden wie die LehrerInnen im Rahmen der technischen Evaluierungen der Anlagen befragt. Es konnten insgesamt 268 verwertbare Fragebögen erreicht werden, die auch auf Plausibilität geprüft wurden.

8.2.2.1 Bewertung der Lüftungsanlage

Als erstes wurden die SchülerInnen gefragt, ob ihnen überhaupt bekannt ist, dass es in ihrer Schule eine Lüftungsanlage gibt. Fast drei Viertel der befragten SchülerInnen geben an, dass ihnen dies bekannt sei. Allerdings meinen nur ein Drittel der SchülerInnen, dass diese gut funktioniere. Etwas mehr als 40 % meinen auch bemerkt zu haben, dass es bereits Probleme mit der Anlage gegeben hätte.

Auch bei den SchülerInnen wurden wie bei den LehrerInnen – durch Vorgaben gestützt – mögliche Probleme, die mit der Lüftungsanlage in Zusammenhang stehen könnten, abgefragt. Hier wurden vor allem folgende Bereiche und Probleme genannt:

Die Luft ist schlecht in der Klasse (dass daran die Lüftungsanlage schuld sei, glauben etwas mehr als die Hälfte der SchülerInnen); in der Klasse ist es zu warm (ca. 40 % meinen, dass die Lüftungsanlage schuld ist); es stinkt in der Klasse (ca. ein Drittel meint, dass die Lüftungsanlage schuld ist); es ist zu kalt in der Klasse (ca. ein Drittel gibt der Lüftungsanlage die Schuld); ebenfalls ca. ein Drittel meint, dass es durch die Lüftungsanlage zu laut in der Klasse sei. Zugluft und Schimmel stellen nach Ansicht der SchülerInnen geringe Probleme dar (vgl. Abb. 8.11). Auch hier ist – wie bei den LehrerInnen – anzumerken, dass nur in einigen Schulen über die Lüftungsanlage geheizt wird und daher Probleme der Lüftungsanlage zugeschrieben werden, für die sie gar nicht verantwortlich sein kann.

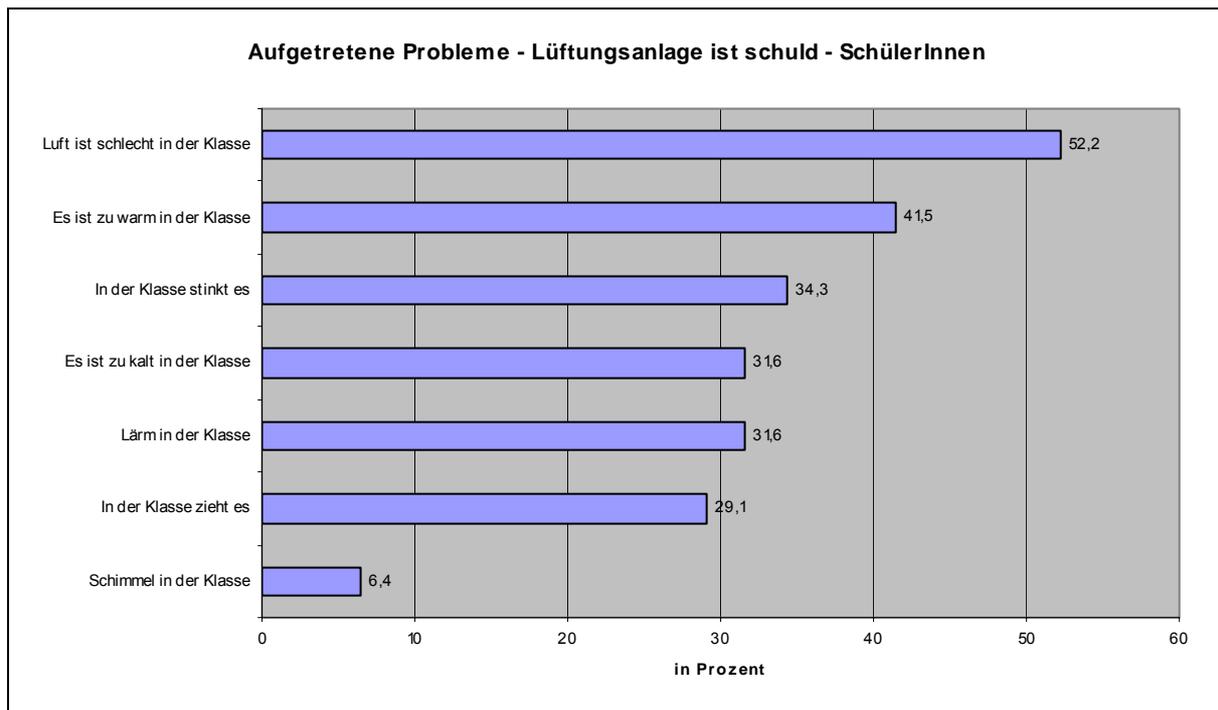


Abbildung 8.11: Aufgetretene Probleme – Lüftungsanlage ist schuld – SchülerInnen

8.2.2.2 Aussehen der Lüftungsanlage

Nur in ca. 30 % der befragten Klassen sind – nach Angaben der SchülerInnen – die Lüftungsrohre zu sehen. Diese werden von ca. der Hälfte der SchülerInnen als hässlich eingestuft. In knapp 40 % der Fälle befindet sich das Lüftungsgerät direkt in der Klasse, das finden aber nur ca. 10 % der SchülerInnen störend.

8.2.2.3 Lüften (in der kalten Jahreszeit)

In fast 60 % der Schulen wird lt. den SchülerInnen zusätzlich zur Lüftungsanlage in den Pausen gelüftet, in fast 50 % der Schulen auch während der Unterrichtsstunden. Dabei werden in mehr als der Hälfte der Fälle die Fenster ganz geöffnet, zu ca. 40 % teils geöffnet und teils gekippt und fast nie nur gekippt.

8.2.2.4 Einschätzung und Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage

Folgende Gedanken und Assoziationen (die in einer offenen Antwortmöglichkeit abgefragt wurden), hatten die SchülerInnen zur Lüftungsanlage: die Lüftungsanlage bringt Frischluft (fast 40 %); die Lüftungsanlage ist keine gute Idee, sie hat keine Wirkung (ca. ein Viertel); einmal ist es zu warm, dann ist es zu kalt (ca. ein Achtel). Positive Aspekte an der Lüftungsanlage (ebenfalls eine Frage mit offener Antwortmöglichkeit) sehen ca. ein Viertel der befragten SchülerInnen. Sie nennen diesbezüglich vor allem „coole/moderne Optik“ (über 40 %) und die bessere Konzentrationsfähigkeit durch die Frischluft (ca. 23 %).

22 % der SchülerInnen meinen, dass sie durch die Lüftungsanlage beim Lernen unterstützt werden (durch mehr Frischluft, bessere Konzentrationsfähigkeit und besseres Raumklima). Nur 13 % der SchülerInnen meinen, dass sie die Lüftungsanlage beim Lernen stört. Hier wird vor allem angeführt, dass diese zu laut sei (ca. 40 %) und die Konzentrationsfähigkeit einschränke (ca. 30 %).

80 % der befragten SchülerInnen gefällt es an der Schule, an der sie sind, sehr gut oder gut. Fast zwei Drittel der Schülerinnen würden gerne wieder eine Schule mit einer Lüftungsanlage besuchen.

Die SchülerInnen vergeben folgende Gesamtnote für die Lüftungsanlage (nicht in allen Schulen abgefragt) (vgl. Abb. 8.12): Etwas mehr als ein Drittel vergibt die Note „befriedigend“, etwas mehr als ein Fünftel die Note „sehr gut“, etwas weniger als ein Fünftel die Note „gut“, ca. 17 % die Note „genügend“ und ca. 7 % die Note „nicht genügend“.

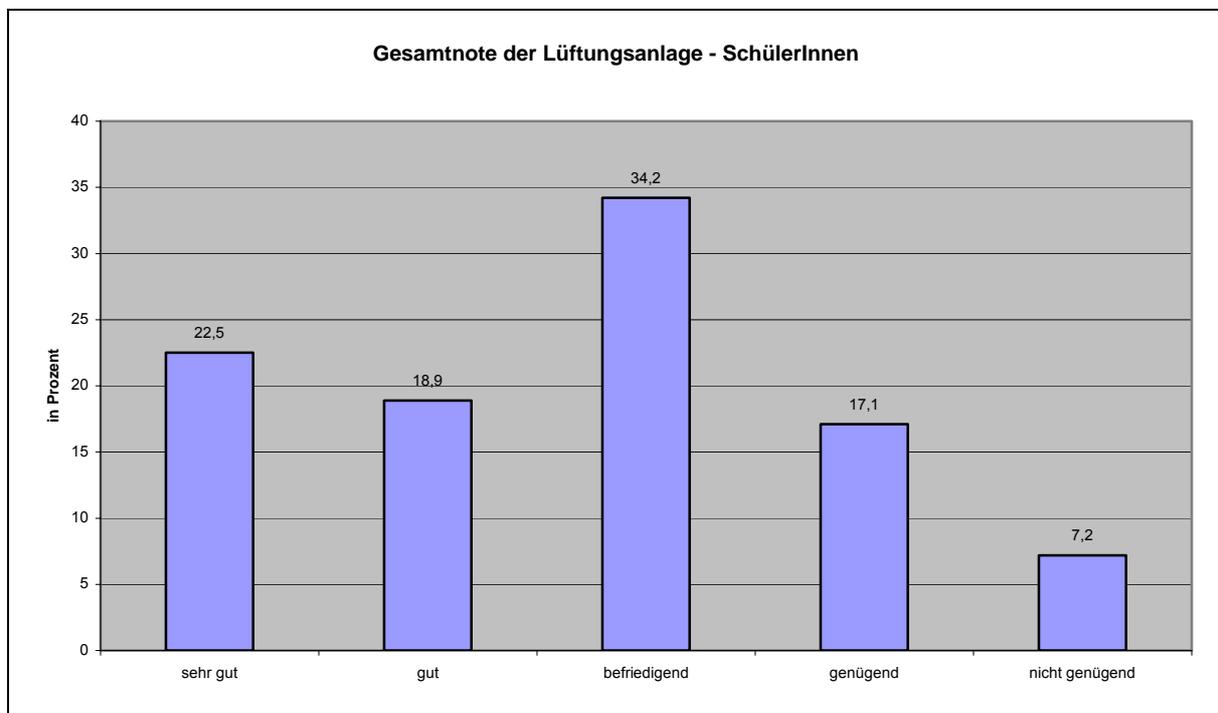


Abbildung 8.12: Gesamtnote der Lüftungsanlage – SchülerInnen

8.2.2.5 Sozialstatistik

48 % der befragten SchülerInnen sind männlich, 52 % weiblich. Die meisten von ihnen (über 60 %) sind zwischen 11 und 14 Jahre, ca. 20 % zwischen 15 und 18, ca. 15 % unter 10 Jahre alt.

8.2.3 Ergebnisse der Befragung der Schulwarte

In den untersuchten Schulen konnten 12 Schulwarte befragt werden. In den untersuchten Kindergärten (außer im Kindergarten Lustenau) und in der Volksschule Stephanshart gibt es keine eigenen Schulwarte. Die Befragung der Schulwarte und Hausmeister wurde während der technischen Evaluierung der Anlagen vorgenommen, wobei die Befragten beim Ausfüllen durch die technischen Evaluierungspersonen unterstützt wurden. Wegen der geringen Fallzahl von Interviews werden in den folgenden Abschnitten keine Prozentwerte, sondern absolute Zahlen angegeben.

8.2.3.1 Bewertung der Lüftungsanlage

Wie waren die Schulwarte bei der Installation der Lüftungsanlage mit ihrem Funktionieren zufrieden und wie zufrieden waren sie zum Zeitpunkt der Befragung?

Je ein Drittel von ihnen war nach Installation der Anlage sehr zufrieden, eher zufrieden oder eher unzufrieden. Zum Zeitpunkt der Befragung waren fast alle Befragten sehr zufrieden oder eher zufrieden, nur zwei unzufrieden (vgl. Abb. 8.13).

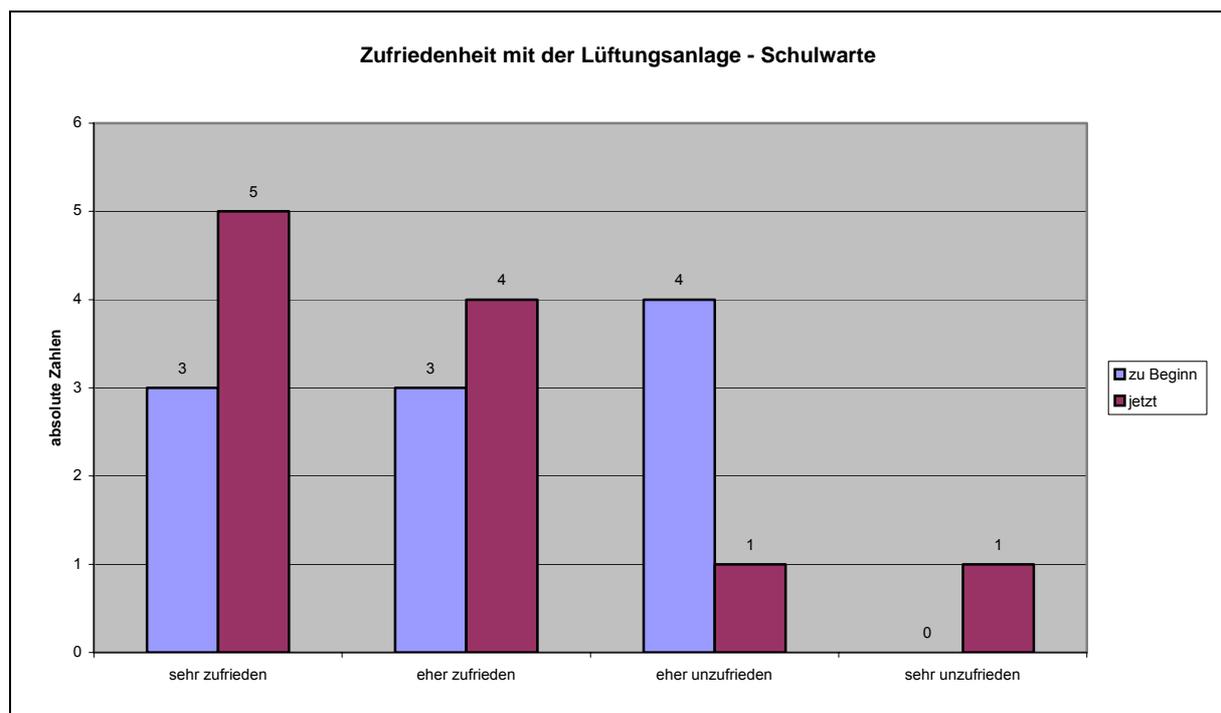


Abbildung 8.13: Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage – Schulwarte

Fast alle befragten Schulwarte meinen, dass die Anlage generell sehr zuverlässig arbeite, nur zwei meinen, sie sei unzuverlässig. Wenn überhaupt Probleme aufgetreten sind, so war diese im Bereich der Überhitzung von Klassen und bei der Luftqualität der Fall; kleinere Probleme gab es manchmal bei der Wärmeversorgung der Klassen. Wenn derartige Probleme aufgetreten sind, konnten diese aber in fast allen Fällen vollständig oder zumindest teilweise behoben werden.

Zwei Drittel der Schulwarte meinen, dass sie die Möglichkeiten der Lüftungsanlage ausreichend nutzen können; fast alle schätzen ihre Bedienerfreundlichkeit als sehr gut oder eher gut ein. Nur in zwei Schulen hat es Beschädigungen der Lüftungsanlage durch SchülerInnen gegeben.

8.2.3.2 Regelung der Lüftungsanlage

Wie können die Lüftungsanlagen geregelt werden? In 9 der 12 Schulen ist es möglich, die Lüftungsstärke zu regeln, in vieren kann auch die Temperatur geregelt werden. Eine getrennte Regelung von Räumen in Bezug auf die Lüftungsstärke ist in 5 der 12 Gebäude möglich, in Bezug auf die Temperaturregelung in zwei Gebäuden. Diese Regelungsmöglichkeiten werden aber von den Schulwarten interessanterweise kaum genutzt – neun von ihnen geben an, sie selten oder nie zu nutzen. Wenn die Regelung aber verwendet wird, kommen alle Befragten gut mit ihr zurecht.

Die Anzahl der Regelungsmöglichkeiten werden vom Großteil der Befragten als genau richtig eingeschätzt. Weitere Regelungsmöglichkeiten, die die Schulwarte nicht selbst bedienen können, existieren bei sieben der 12 Anlagen (vgl. Abb. 8.14). Diese Regelungen werden hauptsächlich von externen TechnikerInnen bedient (4), von den Installationsfirmen (2) oder in einem Fall von einem/einer Lehrer/in.

Alle Lüftungsanlagen können bei Bedarf auch abgestellt werden. In fast allen Schulen wird die Anlage über die Ferienzeiten abgestellt, in der Hälfte der Fälle auch an Feiertagen, bei einem Drittel an Wochenenden. Es gibt nur zwei Lüftungsanlagen, die nie abgestellt werden (vgl. Abb. 8.15).

Die Vorlaufzeiten, um die Anlage nach dem Abstellen wieder in Betrieb zu nehmen, dauern – egal, wie lange die Anlage abgestellt war – höchstens fünf Minuten.

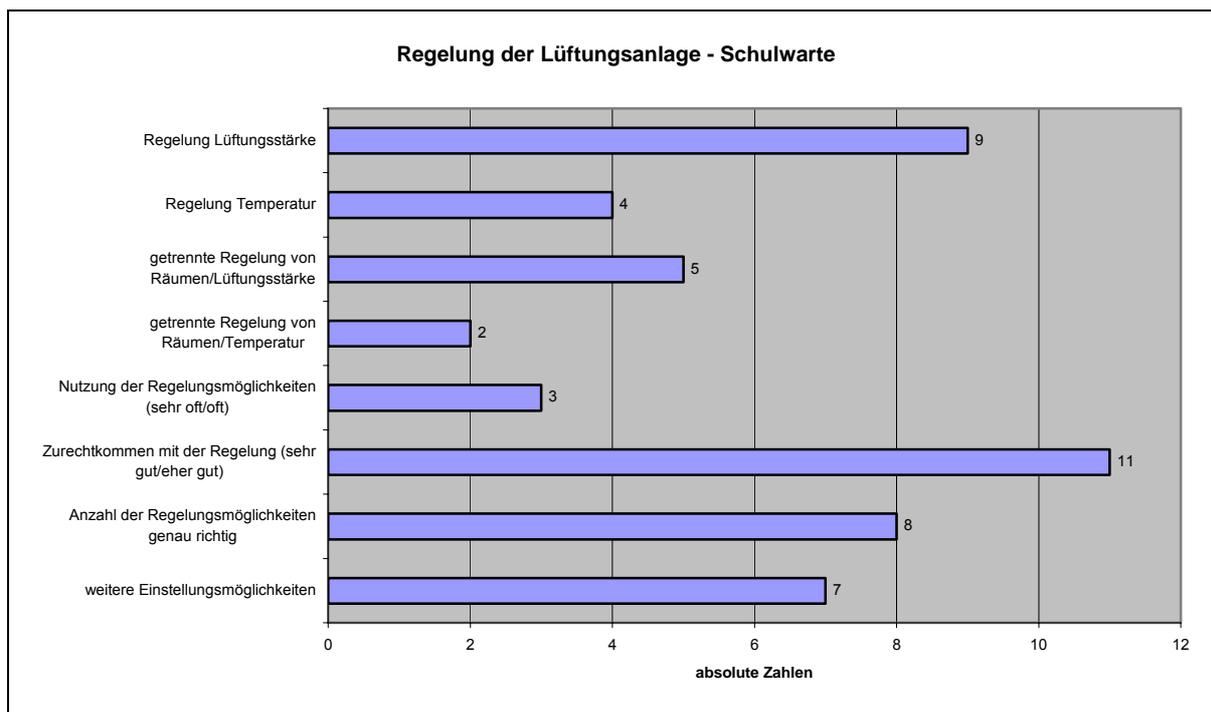


Abbildung 8.14: Regelung der Lüftungsanlage – Schulwarte

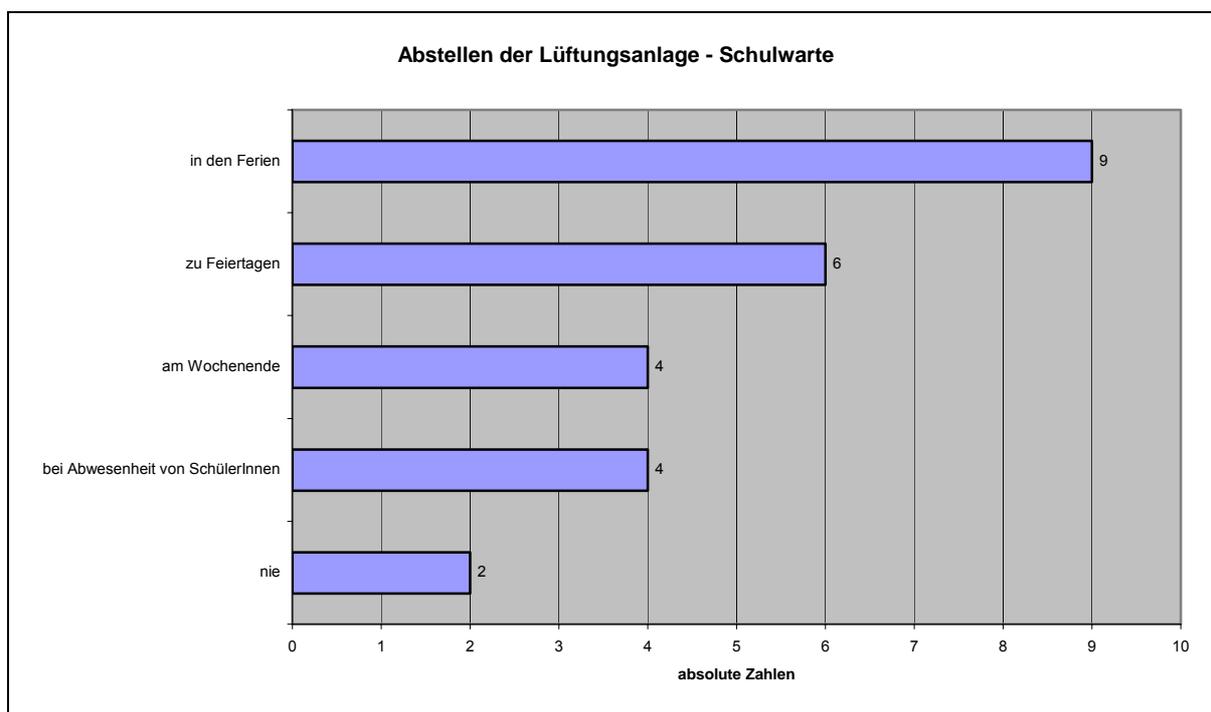


Abbildung 8.15: Abstellen der Lüftungsanlage – Schulwarte

8.2.3.3 Reinigung der Lüftungsanlage

Gewartet wird die Anlage in zwei Drittel der Schulen von den Schulwarten selbst, bei einem Drittel von externen TechnikerInnen (manchmal auch beides). Auch das Wechseln der Filter wird von zwei Drittel der Befragten selbst vorgenommen, in zwei Fällen von externen TechnikerInnen, in einem Fall von einer Installationsfirma. In einem Drittel der Schulen werden die Filter zumindest jedes halbe Jahr, in einem weiteren Drittel einmal im Jahr gewechselt. Von einem Drittel wurden sie noch nie gewechselt (vgl. Abb. 8.16). Der Zeitaufwand für die Betreuung der Anlage wird im Durchschnitt mit einer halben bis 1 1/2 Stunden pro Woche angegeben (in einem Fall mit fünf Stunden).

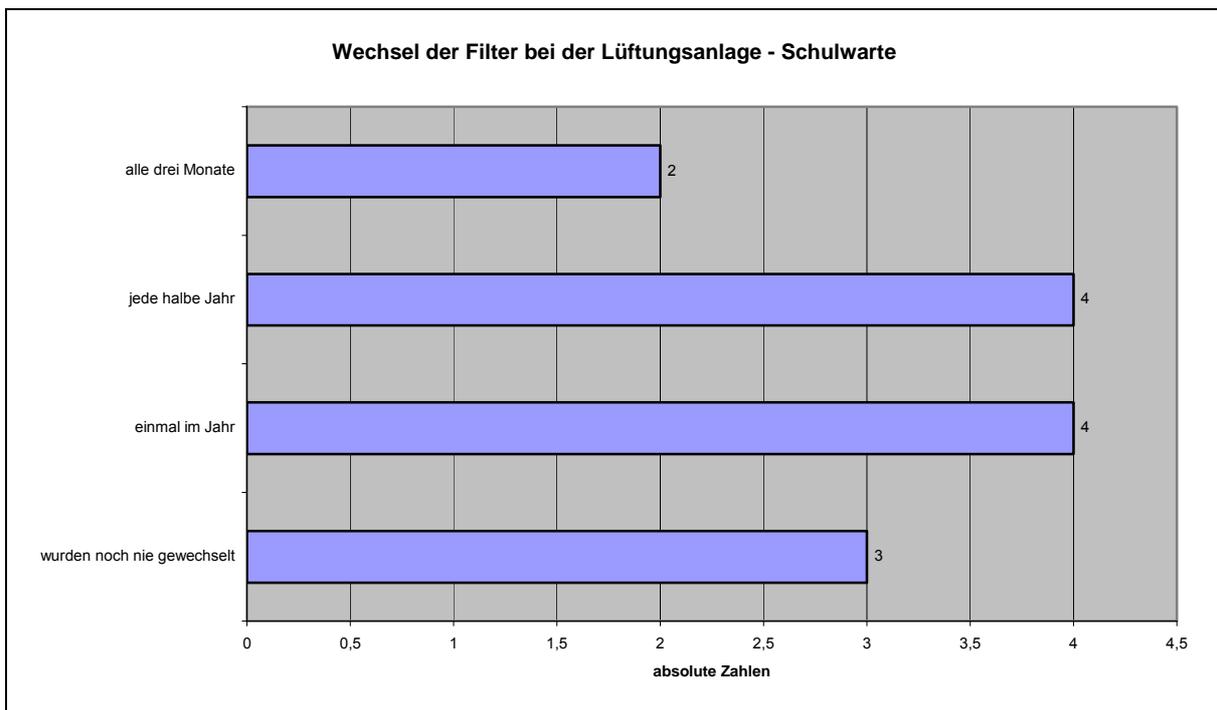


Abbildung 8.16: Wechsel der Filter bei der Lüftungsanlage – Schulwarte

8.2.3.4 Informationen zur Lüftungsanlage

Welche Informationen gab es zur Lüftungsanlage für die Schulwarte? Waren diese ausreichend?

Die Hälfte der Befragten meint, dass sie zu Beginn der Inbetriebnahme ausreichend über die Anlage informiert worden seien; ein Drittel meint, es gab zu wenig Information; in einem Fall gab es gar keine (vgl. Abb. 8.17).

Die Hälfte der Befragten wurde kurz persönlich vor Ort eingewiesen, eine umfangreiche persönliche Einweisung gab es für ein Viertel der Befragten, schriftliches Informationsmaterial nur in einem Fall.

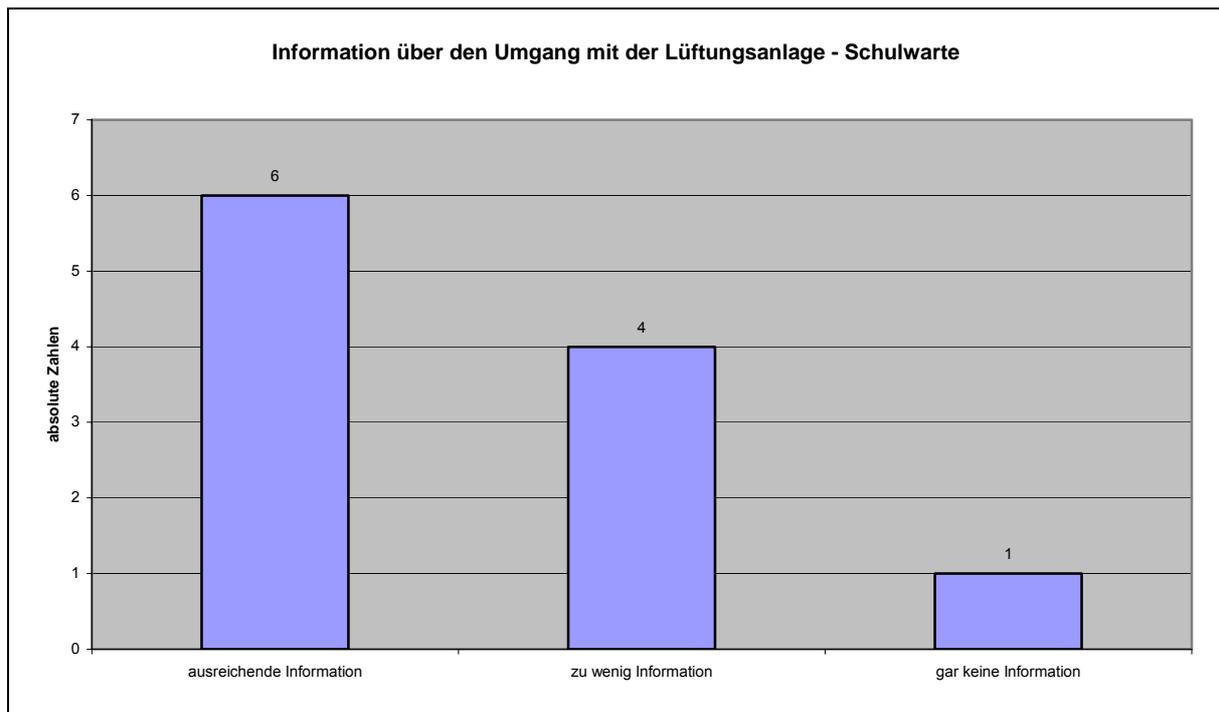


Abbildung 8.17: Information über den Umgang mit der Lüftungsanlage – Schulwarte

Für ein Drittel waren diese Informationen genau richtig im Umfang, für fast die Hälfte aber nicht ausreichend. Die Befragten hätten sich vor allem mehr persönliche Erläuterungen gewünscht, auch mehr Informationsmaterial. Inhaltlich wären Informationen zur Anlagentechnik und zur Bedienung der Anlage interessant gewesen, auch zum richtigen Verhalten und zum richtigen Lüften (vgl. Abb. 6.18).

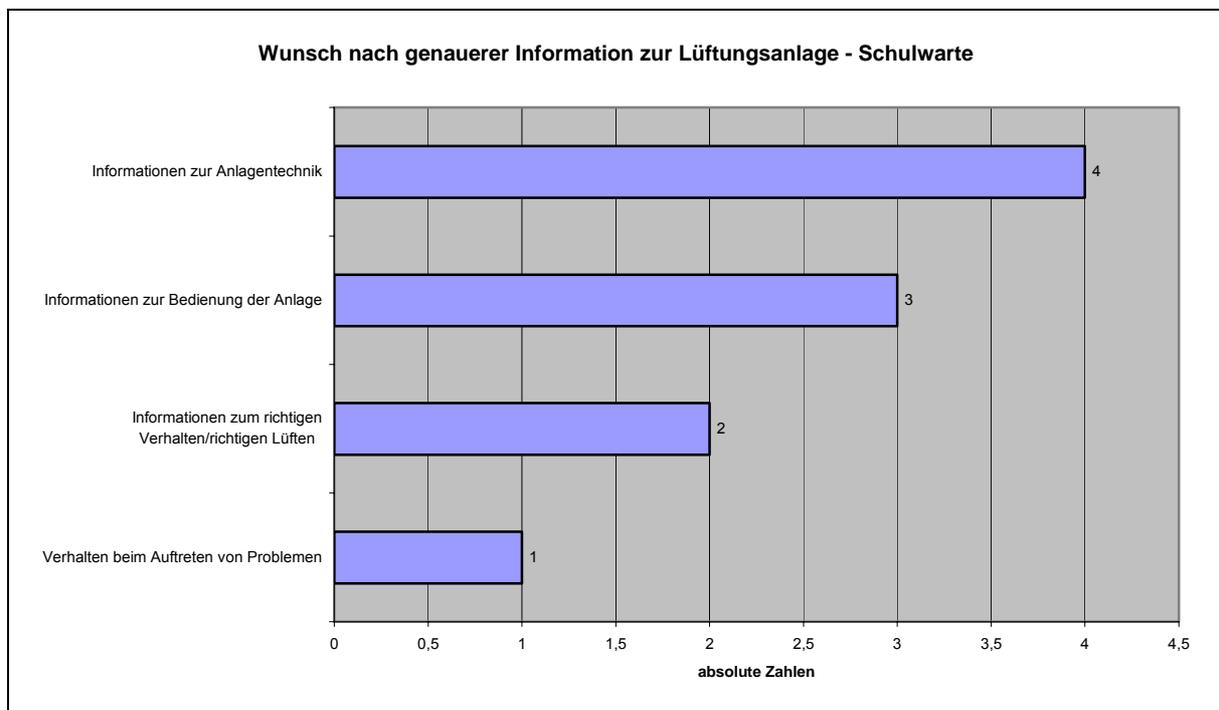


Abbildung 8.18: Wunsch nach genauerer Information zur Lüftungsanlage – Schulwarte

Hintergrundinformationen und eine Bedienungsanleitung werden auch nachgefragt. In zwei Drittel der Schulen ist eine solche Bedienungsanleitung vorhanden, in vier untersuchten Schulen allerdings nicht.

Alle Befragten geben an, dass sie bei Problemen jemanden um Rat fragen können. In den meisten Fällen ist dies die Installationsfirma, in einigen Fällen sind es externe TechnikerInnen.

Etwas mehr als die Hälfte der Schulwarte geben an, dass sie über die Möglichkeiten der Benutzung und Regelung der Lüftungsanlage in ihrer Schule gut informiert seien, etwas weniger als die Hälfte weniger gut oder gar nicht gut. Alle meinen, die Funktionsweise der Lüftungsanlage mehr oder weniger zu verstehen (Kategorien „ja“ und „eher ja“).

8.2.3.5 Eigene Aktivitäten in Bezug auf die Lüftungsanlage

Die Hälfte der Schulwarte hätte bei der Lüftungsanlage etwas anders gemacht, z.B. getrennte Regelungen für die Klassenräume vorgesehen, Zeitschalter eingebaut oder eine andere Art der Lüftungsanlage eingebaut. Zwei der Befragten haben auch versucht, die Anlage zu verbessern – einmal die Steuerung zu optimieren und einmal eine größere Fortlufthaube einzubauen.

8.2.3.6 Einschätzung der Lüftungsanlage

Für die Schulwarte ist die Lüftungsanlage vor allem mit folgenden Assoziationen verbunden (Vorgabe, Mehrfachantworten): neueste Haustechnik (10), modernes Gebäude (10), gesundes Arbeiten und Wohnen (9) und komfortable Technik (9) (vgl. Abb. 8.19).

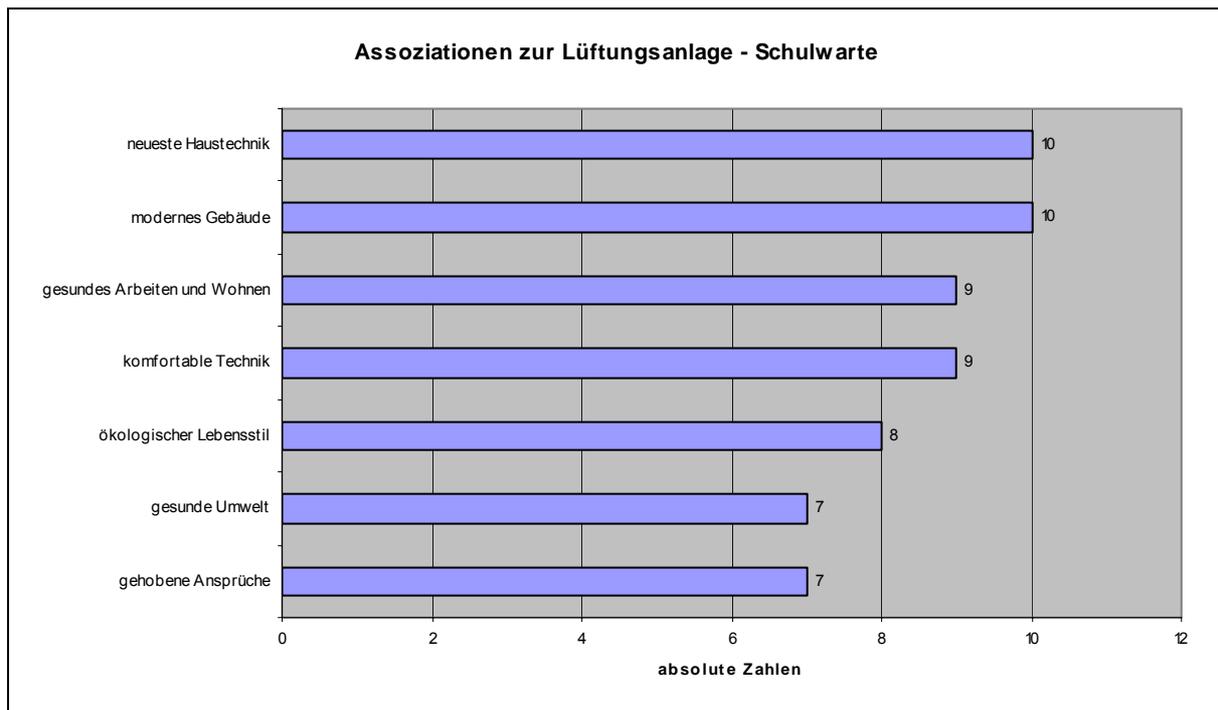


Abbildung 8.19: Assoziationen zur Lüftungsanlage – Schulwarte

8.2.3.7 Lüften und Luftmengen

Nach Einschätzung mehr als der Hälfte der Befragten wird zusätzlich zur Lüftungsanlage in jeder oder in den meisten Pausen über die Fenster gelüftet. Die Anzahl der geöffneten Fenster in den Schulen bewegt sich dabei zwischen fünf und 80 Prozent.

Die Luftmengen werden in einem Drittel der Fälle über die Mehrstufenschalter in den Klassenzimmern geregelt, in den anderen Schulen durch CO₂-, Feuchte- oder Mischgasfilter und in zwei Fällen gar nicht.

8.2.3.8 Zufriedenheit mit der Gesamtsituation

Mit dem Raumklima an der Schule sind neun Schulwarte sehr zufrieden oder zufrieden, mit der Heizsituation an der Schule sind fast alle Schulwarte sehr zufrieden oder zufrieden. Die Unzufriedenen beklagen sich wegen Überhitzungsproblemen oder Erwärmungsproblemen in den Klassen.

Durch die Lüftungsanlage fühlt sich keiner der Befragten in seinem Komfort eingeschränkt. Es sind auch fast alle mit ihrer Arbeitssituation zufrieden.

Alle Befragten würden auch wieder in einer Schule mit Lüftungsanlage arbeiten wollen, die meisten von ihnen raten auch dazu, in allen Schulen Lüftungsanlagen einzubauen.

8.2.3.9 Sozialstatistik

Alle befragten Schulwarte und Hausmeister sind männlich, die meisten davon zwischen 40 und 50 Jahre alt. Fast alle von ihnen verfügen über eine technische Vorbildung (Lehre in einem technischen Beruf, HTL oder Kolleg).

8.2.4 Ergebnisse der Befragung der ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervvertreterInnen

Im Rahmen des Projektes wurden auch ArchitektInnen, HaustechnikplanerInnen und EigentümervvertreterInnen der Schulen und Kindergärten befragt. Diese Interviews wurden telefonisch durchgeführt. Es konnten insgesamt 31 Interviews erreicht werden (für jedes Objekt ein bis drei Interviews – ausgenommen die Volksschule Stephanshart).

8.2.4.1 Entscheidung zur Installation der Lüftungsanlage

Wer war eigentlich die entscheidende Kraft dafür, die Lüftungsanlagen in den Schulen und Kindergärten zu installieren? Ziemlich genau zu je einem Drittel werden hier ArchitektIn, HaustechnikplanerIn oder EigentümervvertreterIn genannt.

Als Hauptargument für die Umsetzung der Lüftungsanlage wird in mehr als der Hälfte der Fälle die Luftqualität angegeben, in ca. einem Drittel der Fälle die Energieersparnis. Der Schutz vor Außenlärm (durch die Möglichkeit, die Fenster nicht öffnen zu müssen), spielt eine untergeordnete Rolle (vgl. Abb. 8.20).

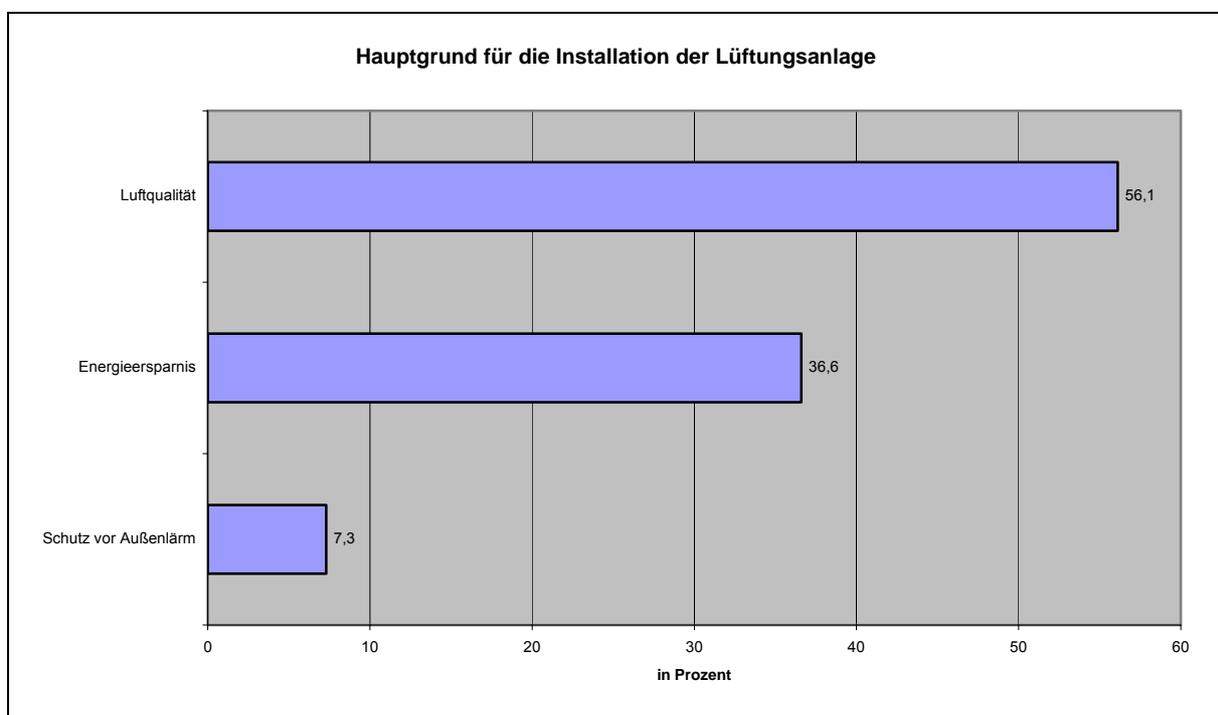


Abbildung 8.20: Hauptgrund für die Installation der Lüftungsanlage

Die endgültige Entscheidung für die Umsetzung der Lüftungsanlage in den Schulen und Kindergärten fiel meistens bereits in der Vorprojektphase (in ca. zwei Drittel der Fälle), zu einem Viertel in der Planungsphase und nur zu einem geringen Prozentsatz erst nach Baubeginn (vgl. Abb. 8.21).

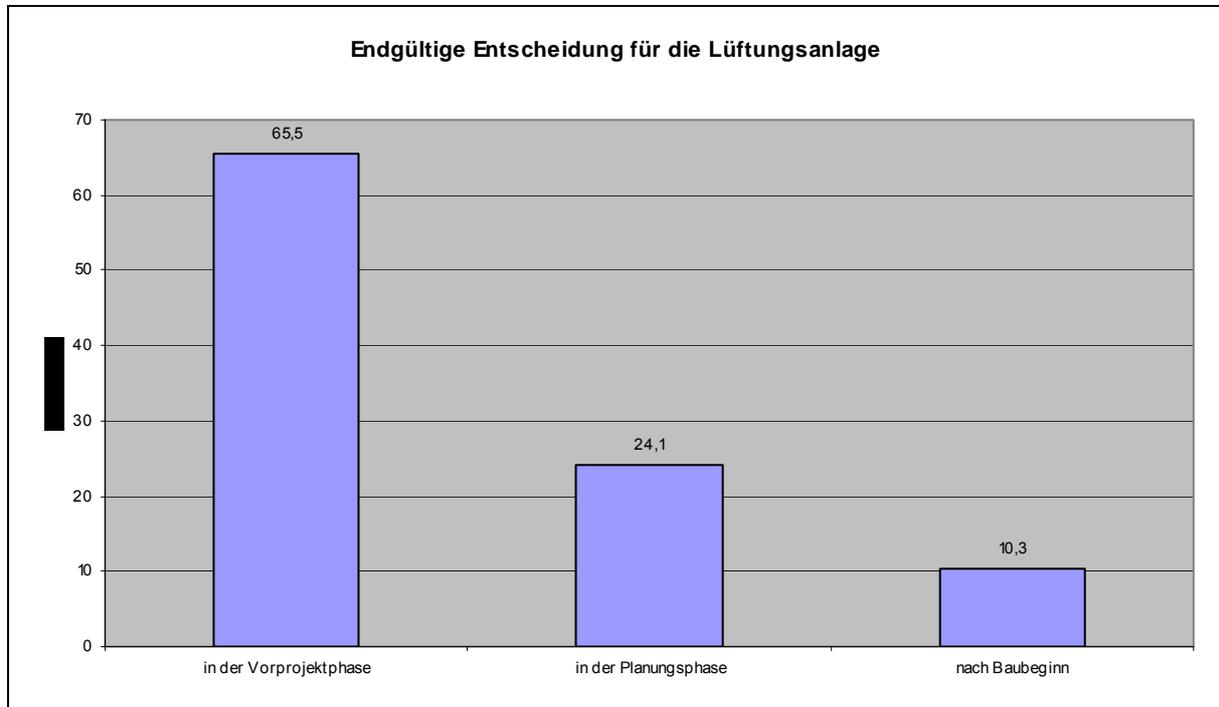


Abbildung 8.21: Endgültige Entscheidung für die Lüftungsanlage

8.2.4.2 Vorgaben von Auftraggeberseite

Interessant ist die Frage, ob es von Seiten der Auftraggeber irgendwelche Vorgaben bzgl. der Lüftungsanlage gegeben hat (insbesondere maximaler CO₂-Gehalt, Luftmenge pro Person, maximaler Schallpegel im Klassenzimmer, minimale Luftfeuchte im Klassenzimmer, minimale Temperatur beim Einströmventil, minimaler Wärmerückgewinnungsgrad, minimale Stromeffizienz, minimale Filterqualität, minimale Regelungsmöglichkeiten).

Derartige Vorgaben wurden kaum gemacht, nur beim minimalen Wärmerückgewinnungsgrad (ein Drittel), bei der minimalen Stromeffizienz, den Luftmengen pro Person und dem maximalen CO₂-Gehalt (je ein Achtel) gab es welche.

8.2.4.3 Einschätzung der Lüftungsanlage

Auch die ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervertreterInnen wurden gebeten, mit der Lüftungsanlage (vorgegebene) verbundene Assoziationen zu bewerten. Wofür steht für sie die Lüftungsanlage (Mehrfachantworten)?

Etwas mehr als 90 % geben an, die Lüftungsanlage steht für gesundes Arbeiten und Wohnen, 90 % meinen, für komfortable Technik, jeweils ca. 85 % für gehobene Ansprüche und modernes Gebäude, knapp 80 % für ökologischen Lebensstil und neueste Haustechnik, 70 % für gesunde Umwelt. Ergänzt wurde von vier Befragten auch noch die Energieeffizienz (vgl. Abb. 8.22).

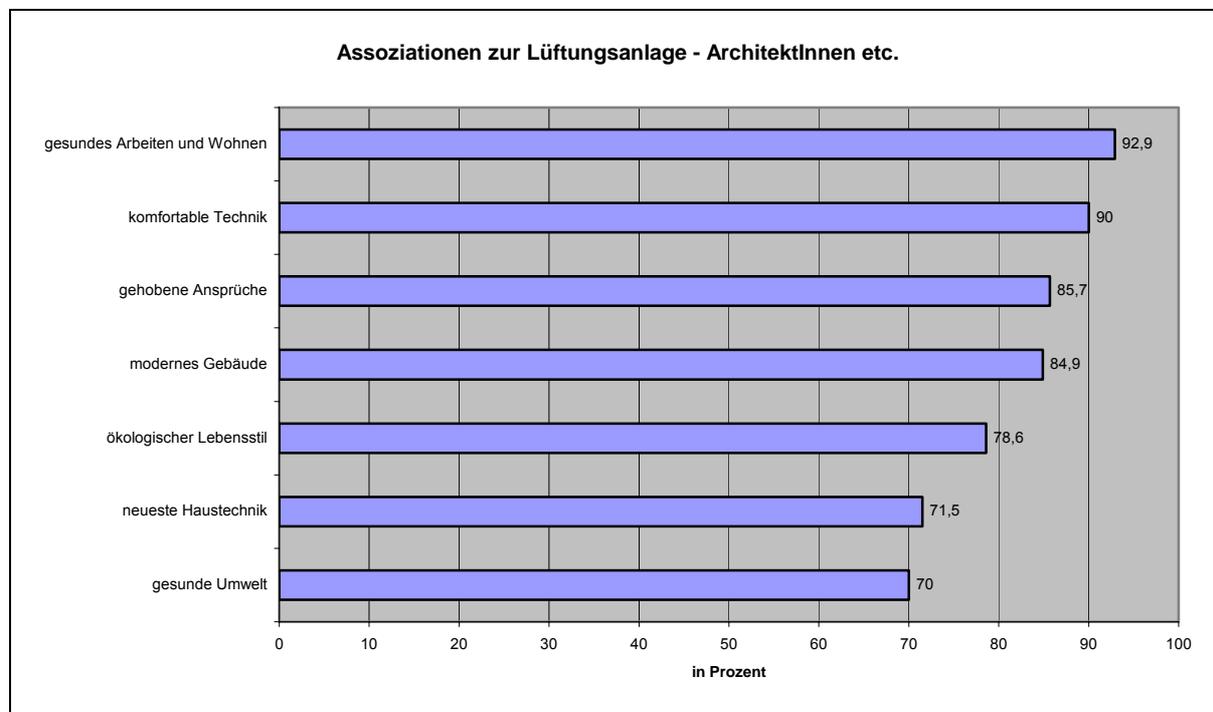


Abbildung 8.22: Assoziationen zur Lüftungsanlage – ArchitektInnen etc.

8.2.4.4 Zuverlässigkeit der Lüftungsanlage

Die Zuverlässigkeit der Lüftungsanlagen in den Schulen und Kindergärten wird von den ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervvertreterInnen als sehr hoch eingestuft, fast alle – bis auf eine Ausnahme – sind der Meinung, dass die Anlage sehr oder eher zuverlässig arbeitet.

Falls Probleme aufgetreten sind, lagen diese vorwiegend im Bereich der Luftqualität in den Klassen (ca. 30 %) und in der Überhitzung der Klassen (20 %). Lärm- und Geruchsbelästigung durch die Anlage spielten fast keine Rolle.

Zum größten Teil – nämlich zu über 90 % – konnten aufgetretene Probleme auch ganz oder zumindest teilweise behoben werden.

Wie hoch sind die laufenden Betriebskosten (Strom, Filter, Wartung, ...) der Anlage? Genaue Zahlen wurden hier leider kaum angegeben, aber zumindest eine Einschätzung, wie sie bzgl. der in sie gesetzten Erwartungen liegen: in 70 % der Fälle entsprechen die Kosten den Erwartungen, in knapp 30 % wurden sie in der Planungsphase nicht kalkuliert.

8.2.4.5 Nachträgliche Betrachtung

Stehen die Investitionskosten der Lüftungsanlagen in einem guten Verhältnis zum Nutzen? Fast alle Befragten bejahen dies (Kategorien „ja, auf jeden Fall“ und „ja, eher schon“).

Fast alle Befragten würden auch auf Grund ihrer Erfahrungen den Einbau einer Lüftungsanlage in allen Schulen und Kindergärten empfehlen.

Als Gesamtnoten für die Lüftungsanlage werden nur „sehr gut“ (19 %) und „gut“ (81 %) vergeben.

8.2.4.6 Sozialstatistik

Die befragten ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervertreterInnen sind zum Großteil männlich (29 von 31), zur Hälfte zwischen 40 und 50 Jahre alt, zu einem Drittel unter 40, zu einem Achtel über 50. Die eine Hälfte der Befragten verfügt über einen Universitätsabschluss, die andere Hälfte über einen HTL-Abschluss, eine Person über einen Lehrabschluss.

8.2.5 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse

Interessant ist festzustellen, in welchen der verschiedenen Bereiche die Einschätzungen zwischen LehrerInnen, SchülerInnen, Schulwarten und den ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervertreterInnen differieren (dies ist natürlich nur dann möglich, wenn gleiche Fragen an diese Personengruppen gestellt wurden). Es werden hier wiederum nur Unterschiede in der allgemeinen Auswertung dargestellt, nicht auf die einzelnen Schulen bezogen.

Was die Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage betrifft, so scheint diese bei den Schulwarten zum Zeitpunkt der Befragung am höchsten zu sein, bei den LehrerInnen liegt sie bei über 50 %. Fast alle Schulwarte und ArchitektInnen etc. meinen, dass die Anlage zuverlässig arbeite, bei den LehrerInnen sind dies knapp 60 %. Aber nur ein Drittel der SchülerInnen meint, dass die Lüftungsanlage in ihrer Klasse zuverlässig funktioniere, über 40 % meinen, es hätte schon einmal Probleme mit der Anlage gegeben.

Als Hauptprobleme werden von den LehrerInnen und den Schulwarten Überhitzung der Klassen, schlechte Luftqualität und zu geringe Wärmeversorgung genannt, von den ArchitektInnen etc. Luftqualität und Überhitzung, bei den SchülerInnen spielt auch noch Geruchsbelästigung eine größere Rolle.

Die Bedienerfreundlichkeit der Lüftungsanlage wird von ca. der Hälfte der LehrerInnen und von fast allen Schulwarten als gut eingestuft. Nur ein Viertel der LehrerInnen nutzt die Möglichkeiten der Anlage, die ihnen zur Verfügung stehen, hingegen tun dies zwei Drittel der Schulwarte. Ebenfalls nur ca. 20 % der LehrerInnen nutzen die Regelungsmöglichkeiten der Anlage des öfteren. Interessanterweise tun dies auch die Schulwarte selten. Beide Gruppen kommen aber mit den vorhandenen Regelungsmöglichkeiten gut zurecht und finden diese auch ausreichend.

An der Optik der Lüftungsanlage (Lüftungsöffnungen, Lüftungsrohre) stoßen sich eher die SchülerInnen als die LehrerInnen. In der Klasse untergebrachte Lüftungsgeräte werden von beiden Personengruppen nicht als Problem gesehen.

In mehr als der Hälfte der Schulen wird trotz Lüftungsanlage auch in den Pausen gelüftet – dies sehen sowohl LehrerInnen als auch SchülerInnen so. Zumindest in der Hälfte der Fälle werden die Fenster ganz geöffnet, zu einem gewissen Teil gekippt und geöffnet und nur zu einem geringen Teil nur gekippt.

Zwei Drittel der LehrerInnen haben keine oder nicht ausreichende Informationen zur Lüftungsanlage erhalten, bei ca. der Hälfte der Schulwarte ist es ebenso. Die gegebenen Informationen erfolgten zum Großteil über persönliche Einweisungen und Erläuterungen vor Ort. Es besteht bei beiden Gruppen vor allem der Wunsch nach mehr persönlichen Erläuterungen sowie bei den Schulwarten auch nach mehr Informationsmaterial. Die LehrerInnen wünschen sich eher Unterstützung beim richtigen Umgang mit der Anlage und beim Verhalten, falls Probleme auftreten; die Schulwarte eher mehr technische Details zur Anlage und deren Bedienung.

Für die LehrerInnen und Schulwarte steht die Lüftungsanlage vor allem für die Begriffe „neueste Haustechnik“ und „modernes Gebäude“, für die ArchitektInnen etc. vor allem für „gesundes Arbeiten und Wohnen“ und „komfortable Technik“.

Mehr als die Hälfte der befragten LehrerInnen sind mit dem Raumklima in der Schule zufrieden, ebenfalls zufrieden sind fast drei Viertel der Schulwarte; die Heizsituation betreffend sind es fast zwei Drittel der LehrerInnen und fast alle Schulwarte.

Etwas mehr als die Hälfte der LehrerInnen fühlt sich – zumindest in manchen Bereichen – durch die Lüftungsanlage in ihrem Komfort eingeschränkt; dies ist bei keinem der Schulwarte so.

70 % der LehrerInnen würden gerne wieder in einer Schule mit Lüftungsanlage arbeiten, ebenso alle Schulwarte; über 60% der SchülerInnen würden gerne wieder eine Schule mit Lüftungsanlage besuchen. Fast 60 % der LehrerInnen würden raten, in allen Schulen Lüftungsanlagen einzubauen, ebenso fast alle Schulwarte.

Am besten werden die Lüftungsanlagen über das Schulnotensystem von den ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervertreterInnen beurteilt – es werden nur „sehr gut“ und „gut“ vergeben, bei den LehrerInnen sind dies 50 %, bei den SchülerInnen knapp über 40 % (für die Schulwarte liegen diesbezüglich leider keine Daten vor).

8.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Akzeptanzanalyse

Die Befragung von LehrerInnen, SchülerInnen, Schulwarten, ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervertreterInnen von 16 Schulen und Kindergärten (plus einer Ersatzanlage), in denen Lüftungsanlagen in verschiedenen Variationen zum Einsatz kommen, hat gezeigt, dass relativ große Zufriedenheit mit den Anlagen herrscht. Diese Zufriedenheit ist bei den Schulwarten am ausgeprägtesten. Die SchülerInnen scheinen etwas weniger zufrieden zu sein.

Damit die Anlagen von ihren BenutzerInnen und den Personen, die täglich mit ihnen leben und arbeiten müssen, akzeptiert werden, müssen diese zumindest einigermaßen funktionieren. Kinderkrankheiten, welche die meisten Anlagen bei ihrer Installation hatten, drücken sich auch in einer größeren Unzufriedenheit aus. Die Zufriedenheit ist bei allen untersuchten Personengruppen gestiegen – in vielen Fällen konnten aufgetretene Probleme wie schlechte Luftqualität, Überhitzung oder zu geringe Wärmeversorgung behoben werden. Probleme, die in früheren Befragungen öfters genannt wurden, wie z.B. das Auftreten von Zugluft oder Lärm- und Geräuschentwicklung durch die Lüftungsanlage, scheinen keine so große Rolle mehr zu spielen.

Hier ist allerdings noch einmal festzustellen, dass die Lüftungsanlage auch für Probleme verantwortlich gemacht wird, für die sie gar nicht verantwortlich sein kann – wenn z.B. Überhitzungs- oder Kälteprobleme in Zusammenhang mit der Lüftungsanlage genannt werden, diese aber gar nicht für die Beheizung der Räume zuständig ist. Von den LehrerInnen werden Einstellungs- und Regelungsmöglichkeiten, die ihnen die Lüftungsanlage bieten würde, wenig genutzt. Dies hat sicher auch damit zu tun, dass die gebotenen Informationen, welche die LehrerInnen erhalten haben, oft nicht ausreichend waren – in manchen Fällen hat es überhaupt keine Information für sie gegeben. Dies ist bei den Schulwarten und Hausmeistern etwas besser, aber auch klarer – sie müssen mit der Anlage natürlich vertrauter gemacht werden als dies die LehrerInnen benötigen. Die beste Informationspolitik ist die persönlich vor Ort vorgenommene – persönliche Einschulung und Erläuterungen sind der Hauptpunkt bei Wunsch nach weiterer Information. Die Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage steigt sowohl bei LehrerInnen als auch bei den Schulwarten mit der Zufriedenheit bei der Informationspolitik. Interessant ist auch, dass immerhin ein Drittel der Schulwarte über keine Bedienungsanleitung für die von ihnen zu betreuende Lüftungsanlage verfügt.

Es zeigt sich, dass trotz Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage in ca. der Hälfte der Schulen und Kindergärten im Winter Fenster geöffnet werden und gelüftet wird. Dies zeigt entweder, dass die Lüftungsanlage nicht gut genug funktioniert, oder dass die LehrerInnen und SchülerInnen nicht gut genug informiert sind, wie die Lüftungsanlage funktioniert – oder beides. Es wäre sicher von Wert, dieses Faktum noch einmal zu überprüfen und entsprechende Schritte zu setzen.

Ein ästhetisches Problem scheinen die Lüftungsanlagen für die LehrerInnen und SchülerInnen nur zu einem kleinen Teil darzustellen. Hier sind wohl in einigen Schulen schon sehr optisch ansprechende Lösungen gefunden worden.

Die LehrerInnen und Schulwarte verbinden die Lüftungsanlage vor allem mit den Begriffen „modern“, „neu“, „Gebäude“ und „Technik“, weniger mit Aspekten der Gesundheit und der Ökologie. Die ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervereinerInnen denken eher an Gesundheit und Komfort. Dies zeigt einen kleinen, aber interessanten Unterschied in der Wahrnehmung – für die Betroffenen handelt es sich eher um eine neuartige Technik (die sicher auch mit Problemen verbunden sein kann), für die ExpertInnen um eine Möglichkeit, komfortabel und ökologisch Energie zu sparen.

Dass die Anlagen sehr gut akzeptiert werden, zeigt auch, dass ein Großteil der LehrerInnen, SchülerInnen und fast alle Schulwarte sich wieder für eine Schule mit Lüftungsanlage entscheiden würden. Hier ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass es Hinweise gibt, dass sich ein Teil der LehrerInnen durch die Lüftungsanlage in ihrem Arbeitskomfort eingeschränkt und ein Teil der SchülerInnen durch die Lüftungsanlage beim Lernen gestört fühlen. Ebenso meint aber ein Drittel der LehrerInnen und ein Fünftel der SchülerInnen, dass die SchülerInnen beim Lernen durch die Lüftungsanlage unterstützt würden. Diese Einschätzungen bedürfen sicher noch weiterer genauerer Untersuchungen.

Die Entscheidung für den Einbau einer Lüftungsanlage findet in den meisten Fällen bereits in der Vorprojektphase, spätestens in der Planungsphase statt, was sich positiv auf die Qualität der eingebauten Anlagen auswirkt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war meist die bessere Luftqualität und die Energieersparnis, selten der Schutz vor Außenlärm. Investitions- und Betriebskosten werden von den ArchitektInnen, PlanerInnen und EigentümervereinerInnen als auf jeden Fall den Erwartungen und dem Nutzen entsprechend eingestuft.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Akzeptanzanalyse die Notwendigkeit einer intensiven Kommunikationsstrategie mit den LehrerInnen und SchülerInnen verdeutlicht hat, um Missverständnisse und falsche Erwartungen zu vermeiden und eine optimale Nutzung der Lüftungsanlage zu erreichen. Diffuses Unwissen ergibt mangelnde Akzeptanz und führt vor allem bei Störungen zu falschen Reaktionen und rasch zu unzufriedenen NutzerInnen.

Dies ist die erste Akzeptanzanalyse, die in Österreich bzgl. mechanischer Lüftungsanlagen in Kindergärten und Schulen durchgeführt wurde. Sicherlich müssen einige Einschränkungen in Kauf genommen werden, z.B. dass Faktoren, die wichtig dafür sind, sich in einer Schule wohl zu fühlen, der Lüftungsanlage zugeschrieben werden, obwohl diese dafür vielleicht gar nicht verantwortlich ist – dies gilt natürlich ebenso umgekehrt. Die erstmalige Befragung von SchülerInnen in diesem Zusammenhang stellte eine große Herausforderung dar. Nach der nun erfolgten Auswertung der Fragebögen gibt es viele Ideen, wie diese verbessert werden können – Anregungen, die sicherlich im nächsten Projekt zur Akzeptanz von Lüftungsanlagen berücksichtigt werden können.

9 Technische Evaluierung

9.1 Vorgangsweise

9.1.1 Arbeitsanweisung für die Anlagenuntersuchung

Um sicherzustellen, dass bei den einzelnen Anlagenuntersuchungen nichts vergessen wird, bzw. dass alle Projektpartner nach dem gleichen Schema vorgehen, wurde eine Arbeitsanweisung für die Anlagenuntersuchung erarbeitet. Die Details befinden sich im Anhang C.

9.1.2 Hilfsmittel für die Anlagenuntersuchung

Um die Anlagenuntersuchung bzw. die Befragung einheitlich und möglichst lückenlos vorzunehmen, wurden folgende Excel-Checklisten bzw. Erfassungshilfen erstellt:

- Luftqualitätsmessung Klassenzimmer
- Schallmessung Klassenzimmer
- Dezentrales Lüftungsgerät
- Zentrales Lüftungsgerät

Sie finden diese Untersuchungshilfen im Anhang D.

9.1.3 Messtechnik

Den vier Messteams des Projektes standen teilweise unterschiedliche Typen an Messgeräten zur Verfügung. Alle Messgeräte inklusive verwendeter Fühler verfügten zum Messzeitpunkt über eine gültige Kalibrierung. Die Kalibrierungen für Feuchte, Temperatur und Druck wurden im akkreditierten Kalibrierlabor von arsenal research durchgeführt. Die verwendeten Messgeräte sind im Anhang E spezifiziert.

9.2 Messwertübersicht – Luftqualität, Behaglichkeit

In jeweils einem ausgewählten, typischen Raum pro Schule wurden folgende Messwerte erfasst, wobei die VOC-Werte jeweils vor Unterrichtsbeginn und die Werte für CO₂, Temperatur und relative Feuchte über den gesamten Vormittag erhoben wurden.

Tabelle 9.1: Messwertübersicht

Nr.	Gesamt VOC [µg/m ³]	max. CO ₂ -Werte	Tmin	Tmax	% r.F. min	% r.F. max
1	430	2500	19	24	27	36
2	<40	1200	20	23	22	34
3	50	1100	21	24	25	30
4	<40	1500	20	24	30	40
5	200	2000	18	24	35	45
6	360	1737	19	25	28	38
7	<40	1000	25,7	27,6	60	63
8	<40	1600	21	24	27	45
9	<40	1270	23,9	27	38	41
10	<40	1700	24,1	27	43	50
11	560	2990	19	25	23	37
12	80	2800	20	24	25	40
13	250	1450	23,5	25	20	47,5
14	160	2300	20	25	35	45
15	<40	1600	19,5	24,2	45	54
16	490	1200	21	23	36	43

Grobe Bewertung:

sehr gut	< 250 µg/m ³	> 1000 ppm	< 20°C	< 24°C	> 30%r.F.	< 45 %r.F.
gut	< 500 µg/m ³	> 1400 ppm	< 19°C	<25°C	< 30 % r.F.	< 50 % r.F.
befried.	< 1.000 µg/m ³	> 1900 ppm	<18°C	< 26°C	< 25% r.F.	< 55% r.F.
ungenügend	> 1.000 µg/m ³	> 1900 ppm	< 18°C	> 26°C	< 20% r.F.	> 55 % r.F.

Die näheren Interpretationen zu einzelnen Messwerten sind in den jeweiligen Auswertungen der Qualitätskriterien ausgeführt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Messwerte nur Tages- bzw. Momentaufnahmen bei sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen darstellen und daher nicht geeignet sind, eine konkrete Aussage über die Qualität bzw. Zielerreichung einer Anlage zu treffen.

9.3 Beispiel Anlagensteckbrief – VS Ainet

Für jede Schule wurde ein kurzer Anlagensteckbrief erstellt. Sie sind ohne den Messergebnissen und der schulspezifische Akzeptanzanalyse im Anhang enthalten.



Abbildung 9.12: Sanierter Altbau



Abbildung 9.3: Neuer Zubau

Ainet: Allg. Steckbrief:

Schule, Kindergarten, ...:	Volksschule Ainet
PLZ:	9951
Ort:	Ainet
Strasse, HNr.:	Ainet 17
Kontaktperson Schule:	Volcan Wulfenia
Funktion:	Direktorin
Tel.:	+43-4853-5552
Fax:	+43-4853-5552
E-Mail:	direktion@vs-ainet.tsn.at
Homepage der Schule:	www.ainet.gv.at
Kontaktperson 2:	Werner Rauchegger
Funktion:	Energietechnik Bauphysik
Tel.:	+43-4852-72779
E-Mail:	info@raucheggerhaus.at
zentrale/dezentrale Anlage:	dezentral
Erdwärmetauscher:	teilweise
alle/individuelle Klassen erfasst:	alle
Klassen mit Belüftung/Gesamt:	8/8
Hersteller der Lüftungsgeräte:	Drexel und Weiss
Baujahr:	2005/2006
Einbau in Neubau/Sanierung:	Sanierung und Neubau
Investitionskosten exkl. MWSt.:	2.100.000 € (5.400,-€ Lüftung pro Klasse)
Architekt:	Klaus Seirer – Büro Steinklammer
E-Mail:	k.seirer@architekt-steinklammer.at
Haustechnikplaner:	Werner Rauchegger
E-Mail:	info@raucheggerhaus.at
Auskunftsperson von Eigentümerseite:	BGM Karl Poppeller
E-Mail:	bgm_ainet@aon.at
Wurde Lüftung schon untersucht:	Nein
Auskunft über Untersuchung bei:	----

Gebäude

Die Volksschule Ainet wurde 2005 auf Passivhausstandard generalsaniert und 2005/2006 um einen Zubau erweitert.

Bruttogeschossfläche (BGF):	1832	[m ²]
Rechnerischer Heizwärmebedarf (HWB):	<15	[kWh/m ²] (BGF)
Gemessene Luftdichtheit der Gebäudehülle (n ₅₀):	0,5	[1/h]

n.v = Wert nicht vorhanden

Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung:	Erdreich Wärmepumpe mit 8 Sonden à 86 m
Wärmeverteilung:	Wassergeführtes Heizungssystem
Wärmeabgabe:	Radiatoren, (Fußbodenheizung im Neubau, Sporthalle nur über Lüftung)

Lüftungsanlage

In die 8 Klassen und für den Verwaltungsbereich bzw. die Hausmeisterwohnung wurden jeweils dezentrale Lüftungsgeräte eingebaut.

*Max./Eingestellt. Volumenstrom:	550/220	[m ³ /h]
Anzahl der SchülerInnen:	19 + LehrerIn	
Luftvolumen pro SchülerIn:	27,5/11,0 (inkl. LehrerIn)	[m ³ /h pro S.]
Art der Wärmerückgewinnung:	Kreuz-Gegenstrom Platten WT	
Spez. Strombedarf:	<0,2 am Betriebspunkt	[W/m ³ /h]
Regelungsstrategie:	Anwesenheit + Feuchte	
Filterart/Filterqualität:	Kassettenfilter F7	
Luftvorwärmung:	el. Frostsicherung ab -5°C	
Luftnachwärmung:	Keine	
Verteilkonzept:	Keine Verteilung	
Lufteinbringungskonzept:	Induktionslüftung	

* Eingestellter Volumenstrom bzw. Schüleranzahl pro Schule bei zentralen Anlagen bzw. pro Klasse bei dezentralen Anlagen



Abbildung 9.4: Ansaugung



Abbildung 9.5: Lüftungsgerät



Abbildung 9.6: Wärmetauscher



Abbildung 9.7: Filter



Abbildung 9.8: Luftführung Zu- und Abluft



Abbildung 9.9: Bedienungseinheit



Abbildung 9.10: Klassenraum 1



Abbildung 9.11: Klassenraum 2



Abbildung 9.12: Fortluftführung

Die wichtigsten Messergebnisse:

Datum der Messungen:	22.2.2007
Klasse:	EG – Rote Klasse
Raumvolumen:	191 m ²
Anzahl der SchülerInnen:	19

CO₂ – Temperatur- und Feuchtemessung:

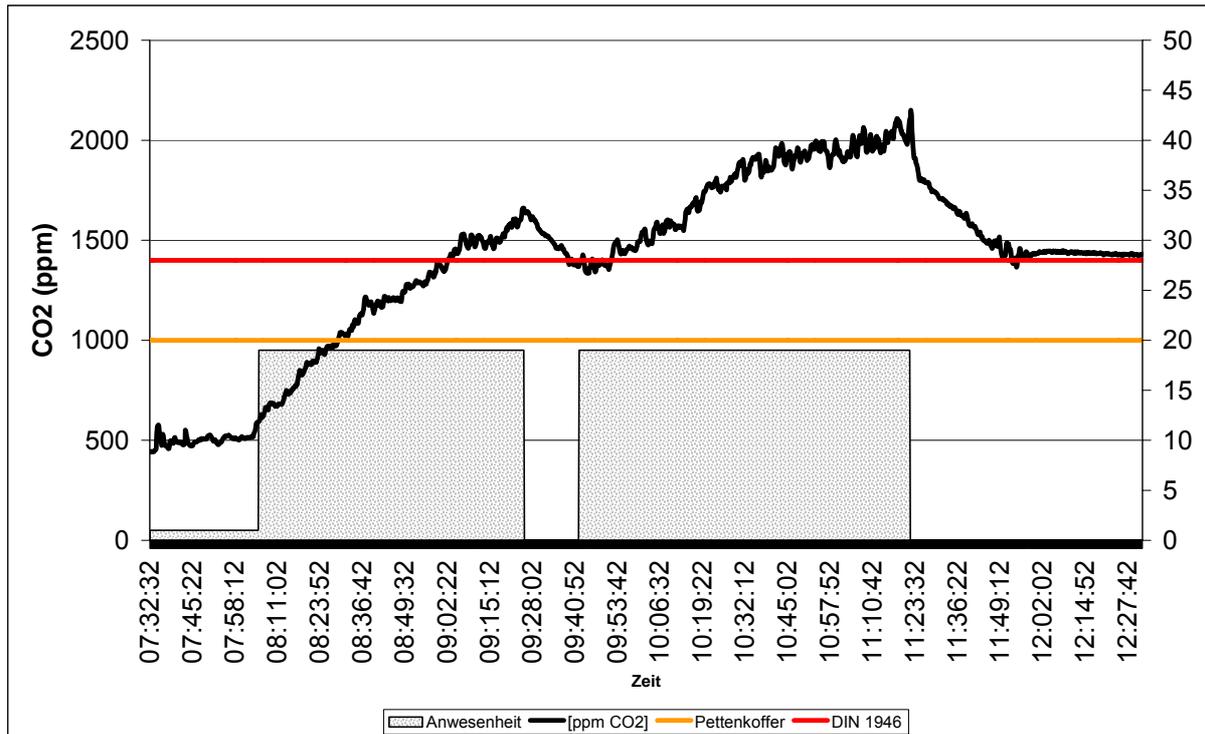


Abbildung 9.13: CO₂-Verlauf

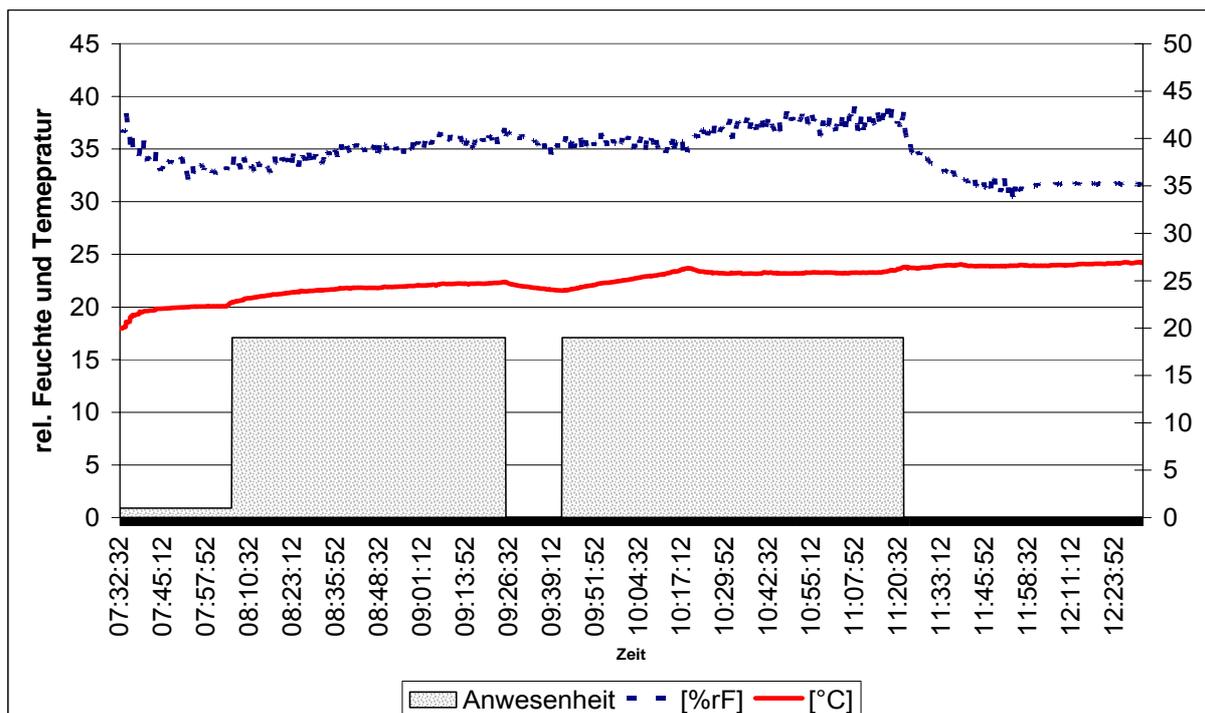


Abbildung 9.14: Temperatur- und Feuchteverlauf

Schallmessung:

Ruhe­schall­pegel:	17	[dB (A)] [10 sec]
Nachhallzeit:	n.v.	[Sekunden]

Lüftungsstufe:	1	2 (220 m³/h)	3 (550 m³/h)	
Leq (A) [10 sec]	22	33	40	[dB(A)] [10 sec]
Leq (C) [10 sec]	47	58	62	[dB(C)] [10 sec]

Frequenzanalyse der Normalbetriebsstufe:

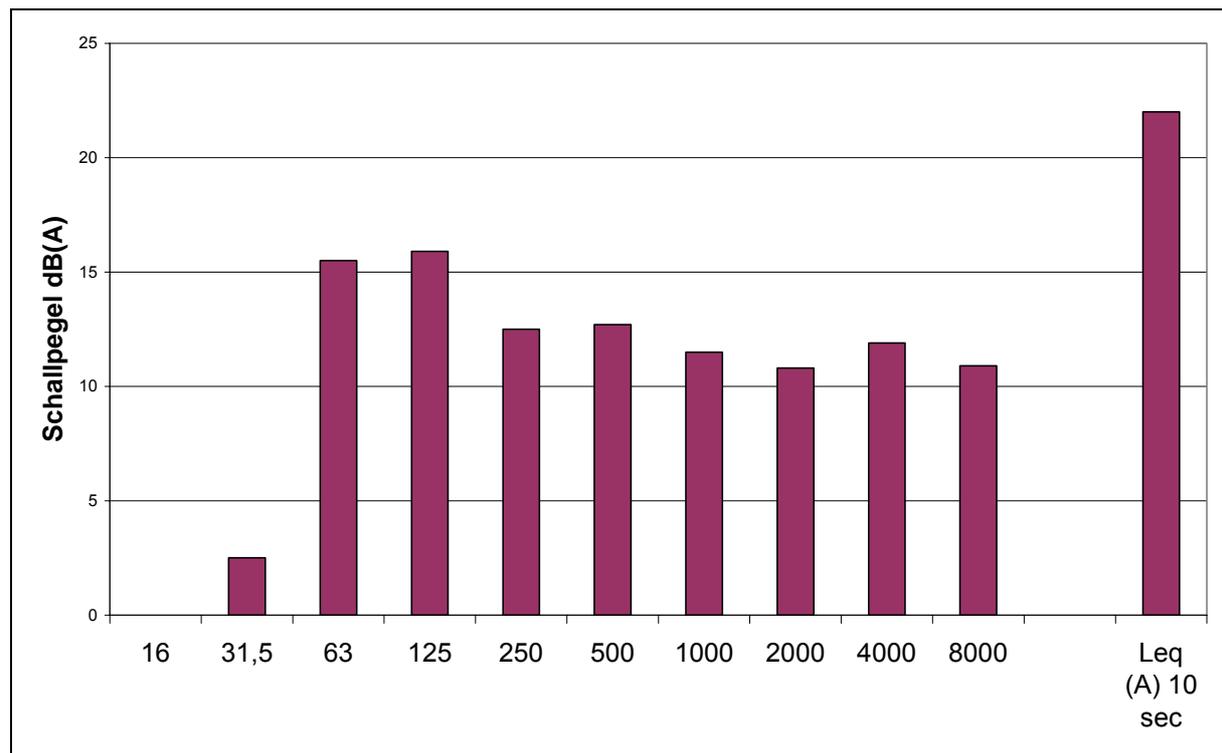


Abbildung 9.15: Frequenzanalyse

Anmerkungen: Messwerte sind Einzelwerte. D.h. Leq (A) entspricht nicht der log. Summe der Einzelwerte. Gemessen wurde die Automatikstufe – diese lief zu diesem Zeitpunkt auf Stufe 1.

VOC Messung:

Schule	Probe durch	Probenahmezeitraum	Gesamt VOC [µg/m³]
Ainet	Greml	7:25 - 8:05	200

bis 250 µg/m³ niedrig
 250 - 500 µg/m³ durchschnittlich
 500 - 1.000 µg/m³ geringfügig erhöht
 1.000 - 3000 µg/m³ deutlich erhöht
 über 3000 µg/m³ stark erhöht

Anmerkungen: Keine Besonderheiten

Ainet – Ergebnisse der Akzeptanzanalyse

In der Volksschule Ainet konnten im Rahmen der technischen Evaluierung der Anlagenbetreuer, sechs LehrerInnen und 19 SchülerInnen befragt werden.

Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage

Die LehrerInnen und SchülerInnen sind mit der Lüftungsanlage eher bis sehr zufrieden. Die Anlage funktioniert gut und zuverlässig. Probleme mit der Anlage werden kaum berichtet. Die Anlage wird von den LehrerInnen als bedienerfreundlich eingestuft und deren Möglichkeiten auch ausreichend genutzt. Es gibt Regelungsmöglichkeiten für die Anlage, die aber von den LehrerInnen nicht verwendet werden.

Optischer Eindruck der Lüftungsanlage

Da es sich in dieser Schule um dezentrale Lüftungsgeräte handelt, befinden sich diese in den Klassen (im Wandverbau integriert). Dies wird sowohl von den LehrerInnen als auch von den SchülerInnen als nicht störend empfunden.

Information über die Lüftungsanlage

Die Informationen über den Umgang mit der Lüftungsanlage werden von den LehrerInnen als ausreichend empfunden. Diese Information erfolgte vor allem durch persönliche Einweisung vor Ort und wird als gut bewertet, es besteht kein Wunsch nach weiterer Information. Die LehrerInnen meinen zum Großteil auch, über die Funktionsweise der Lüftungsanlage Bescheid zu wissen. Die Lüftungsanlage wird von den LehrerInnen vor allem mit dem Begriff „Gesundes Arbeiten und Wohnen“ verbunden, von den SchülerInnen mit den Begriffen „angenehm“ und „Frischluft“.

Zufriedenheit mit der Gesamtsituation

Die LehrerInnen sind mit dem Raumklima und der Heizsituation in der Schule sehr zufrieden. Sie fühlen sich durch die Lüftungsanlage in keiner Weise in ihrer Arbeit und in ihrem Komfort eingeschränkt. Alle befragten LehrerInnen würden – wenn sie die Wahl hätten – wieder in einer Schule mit Lüftungsanlage arbeiten wollen und würden empfehlen, Lüftungsanlagen in allen Schulen einzubauen. Sie meinen auch, dass SchülerInnen in einer mit einer Lüftungsanlage ausgestatteten Klasse besser lernen als in einer Klasse ohne mechanische Lüftung.

Die SchülerInnen fühlen sich durch die Lüftungsanlage auf jeden Fall nicht beim Lernen gestört, ob sie dadurch leichter lernen, bleibt aber unentschieden. Sie fühlen sich fast alle in ihrer derzeitigen Schule sehr wohl und würden auch fast alle wieder in eine Schule mit Lüftungsanlage gehen wollen.

Resümee

In der Volksschule Ainet herrscht sowohl bei den LehrerInnen als auch bei den SchülerInnen große Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage, es gibt keinerlei Probleme. Die nötigen Informationen sind gut angekommen, die Situation in der Schule wird im Gesamten als höchst angenehm beschrieben.

9.4 Beurteilungskriterien – 61 Qualitätskriterien

Die 61 Qualitätskriterien orientieren sich grundsätzlich am Aufbau der 55 Qualitätskriterien für Wohnraumlüftungen. Die wesentlichen Inhalte sind abgestimmt durch die ÖNORM H 6039:2008 (Stand 9.1.2008) für Klassenzimmerlüftungen, die ÖNORM EN 13779:2008 für Nichtwohngebäude, wobei für die Qualitätskriterien die Normen immer nur als „Mindestmaßstab“ herangezogen wurden. Da bei den 61 Qualitätskriterien aber der Komfort und zufriedene Nutzer einen erhöhten Stellenwert haben, wurden in entscheidenden Bereichen die Anforderungen angepasst, zusätzlich aufgenommen bzw. erhöht, sodass bei Einhaltung aller Ziel-Kriterien eine „Komfortlüftung für Klassenzimmer“ herauskommen sollte. Im Bereich Schall sind die Anforderung in der ÖNORM 8115-2:2002 mit maximal 25 dB(A) (zumindest für zentrale Anlagen) sehr hoch und in der EN 13779:2008 mit 30–45 dB(A)] hingegen sehr milde. Hier wurde in den Qualitätskriterien ein entsprechender Kompromiss vorgeschlagen.

Zentrale Lüftungsanlagen für ganze Schulen bzw. einzelne Gebäudetrakte unterscheiden sich in einigen Punkten recht deutlich von dezentralen Anlagen. Bei den einzelnen Kriterien wurde daher, wenn sinnvoll, zwischen zentralen und dezentralen Anlagen unterschieden, wobei die grundsätzlichen Anforderungen durchwegs gleich sind und sich nur deren Umsetzung unterscheidet. Die Qualitätskriterien gliedern sich in folgende fünf Hauptkategorien:

1. Gebäudevoraussetzungen
2. Allgemeine Dimensionierung
3. Ansaugung/Erdsreichwärmetauscher/Fortluft (Außenbereiche)
4. Lüftungsgerät/Wärmetauscher
5. Verteilnetz

Weiters sind die Kriterien in

(V) = Voraussetzung, (M) = Muss und (E) = Empfohlen

zur Erreichung einer hochwertigen Klassenzimmerlüftung unterteilt.

Grundsätzlich sollen durch die einzelnen Kriterien die folgenden übergeordneten Ziele bei einer Klassenzimmerlüftung erreicht werden:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Für den Schultyp und die Klassenschülerzahl ausgelegte, aber bedarfsangepasste Luftmengen2. Hohe Luftqualität (gefiltert, nicht von der Straßenseite, Berücksichtigung der Raumluftfeuchte, ...)3. Hoher thermischer Komfort (z.B. keine Zegerscheinungen)4. Hoher Schallschutz (Schutz vor Außenlärm, keine innere Lärmübertragung bzw. Lärmbelastung)5. Hohe Energieeffizienz (hohe Wärmerückgewinnung, niedriger Strombedarf)6. Einfache Bedienung und Wartung7. Langlebige Technik |
|---|

9.4.1 Gebäudevoraussetzungen

Voraussetzung (V1)	Anforderung
Luftdichte Gebäudehülle	Maximal 1-fache Luftwechselrate nach ÖNORM EN 13829 (Blower Door Test) Zielwert: 0,6-facher LW Für Passivhäuser gilt der Zielwert von max. 0,6-fachem LW als Mindestanforderung.

Eine luftdichte Hülle muss schon aus bauphysikalischen Gründen bei jedem Neubau bzw. bei jeder größeren Sanierung angestrebt werden. Bei Gebäuden mit Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung ist dies auch aus Lüftungstechnischer Sicht von Bedeutung, um die negativen Auswirkung einer hohen Falschluftrate auf die Energiebilanz in Grenzen zu halten. Eine undichte Gebäudehülle trägt durch den unkontrollierten Luftaustausch in der belegungsfreien Zeit zudem zu einer unerwünscht niedrigen Luftfeuchte in Klassenzimmern bei. Zur Qualitätskontrolle sollte daher für jedes Gebäude eine Messung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle (Blower Door Test) nach ÖNORM EN 13829:2001 durchgeführt werden. Mit der Umsetzung der European Building Richtive (EPBD) in Österreich und mit der Harmonisierung der Bauordnungen werden mit 2008 durch die OIB-Richtlinie 6, Stand April 2007, Maximalwerte für die Gebäudedichtheit vorgegeben. Gebäude mit mechanisch betriebenen Lüftungsanlagen mit oder ohne Wärmerückgewinnung dürfen lt. OIB-Richtlinie 6, für die Luftwechselrate (n_{50} Wert) den Wert 1,5 [1/h] nicht überschreiten. Laut ÖNORM EN 13779:2008 soll die Luftwechselrate (n_{50} Wert) eines Gebäudes mit Be- und Entlüftungsanlagen unter 1 [1/h] liegen. Die ÖNORM B 8110-5 gibt die maximale Luftwechselrate bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen mit 1,5 [1/h], bei Gebäuden ohne statisches Heizsystem (Passivhäuser) mit 0,6 [1/h] an. Das Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS) gibt gemäß oben genannter Norm einen Richtwert für die Luftwechselrate (n_{50} Wert) mit 1,5 [1/h] und einen Zielwert mit 0,6 [1/h] an. Das Passivhausinstitut empfiehlt neben dem Standardwert von 0,6 [1/h] für Passivhäuser, insbesondere für Schulen, einen Zielwert von 0,3 [1/h] beim Blower Door Test.

Anmerkung: Die maximale Luftdurchlässigkeit wird im Normalfall für das gesamte Gebäude ermittelt. In manchen Fällen kann die Dichtheit der einzelnen Klassenzimmer deutlich von der Dichtheit des gesamten Gebäudes (inkl. Aula, Atrium) abweichen. Es macht für dezentrale und semizentrale Geräte daher eventuell Sinn, die Anforderung konkret an das Klassenzimmer bzw. den Raumverbund, der belüftet wird, zu stellen.

Voraussetzung (V2)	Anforderung															
Niedrige Nachhallzeit	<p>Die Nachhallzeit (T) im besetzten Zustand, berechnet nach ÖNORM EN 12354-6, sollte abhängig von der Raumgröße die empfohlenen Werte von $T = 0,32 \lg. V - 0,17$ nach ÖNORM B 8115-3 nicht überschreiten.</p> <p>Beispiele: Muttersprache: Fremdsprache:</p> <table border="0"> <tr> <td>100 [m³]</td> <td>0,47 [Sek]</td> <td>0,38 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>200 [m³]</td> <td>0,56 [Sek]</td> <td>0,45 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>300 [m³]</td> <td>0,62 [Sek]</td> <td>0,50 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>400 [m³]</td> <td>0,66 [Sek]</td> <td>0,53 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>500 [m³]</td> <td>0,69 [Sek]</td> <td>0,55 [Sek]</td> </tr> </table> <p>Zielwert: Werte für Muttersprache minus 20 % wie für Klassen mit Fremdsprachenunterricht empfohlen.</p>	100 [m ³]	0,47 [Sek]	0,38 [Sek]	200 [m ³]	0,56 [Sek]	0,45 [Sek]	300 [m ³]	0,62 [Sek]	0,50 [Sek]	400 [m ³]	0,66 [Sek]	0,53 [Sek]	500 [m ³]	0,69 [Sek]	0,55 [Sek]
100 [m ³]	0,47 [Sek]	0,38 [Sek]														
200 [m ³]	0,56 [Sek]	0,45 [Sek]														
300 [m ³]	0,62 [Sek]	0,50 [Sek]														
400 [m ³]	0,66 [Sek]	0,53 [Sek]														
500 [m ³]	0,69 [Sek]	0,55 [Sek]														

Der Schallpegel von raumluftechnischen Anlagen in einem Raum ist auch vom Absorptionsvermögen des Raumes abhängig. Eine Schallpegelsenkung ist mit einer Erhöhung der Schallabsorption und damit einer Verkürzung der Nachhallzeit möglich. Um den Schallpegel in Klassenzimmern – nicht nur aus der Sicht der Klassenzimmerlüftung – möglichst niedrig zu halten, und auch aus raumakustischen Gründen, ist eine entsprechende Nachhallzeit wichtig. Abhängig von Raumgröße und Funktion wird in der ÖNORM B 8115-3:2005 eine optimale Nachhallzeit für den besetzten Zustand ausgewiesen. Die Nachhallzeit (T) im besetzten Zustand, berechnet nach ÖNORM EN 12354-6:2004, sollte nach B 8115-3:2005 für Klassenräume bzw. für Kommunikation ca. $T = 0,32 \lg. V - 0,17$ betragen. Für Klassenzimmer mit Fremdsprachenunterricht sollte dieser Wert um 20 % abgesenkt werden. Insbesondere soll im Sprachfrequenzbereich, zwischen 250 Hz und 2.000 Hz, dieser Wert nicht überschritten werden.

Voraussetzung (V3)	Anforderung
Schadstoffarme Bauweise, schadstoffarmes Gebäude	<p>Gebäude und Einrichtungsgegenstände aus unbedenklichen, natürlichen Materialien bzw. aus Materialien, welche nach EN 15251 als sehr schadstoffarm eingestuft sind und maximal folgende Emissionen aufweisen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TVOC unterhalb 100 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] • Formaldehyd unterhalb 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] • Ammoniak unterhalb 10 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] • Krebserregende Verbindungen (IARC) unterhalb 2 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] • Material ist geruchlos (Unzufriedenheit in Bezug auf Geruch liegt unterhalb von 10 %) <p>Der VOC Summenparameter sollte auch ohne Einsatz der Lüftungsanlage keinen Hinweis auf Emissionsquellen im Raum geben. Max. 500 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]</p> <p>Zielwert: max. 250 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]</p>

Beschwerden über häufige Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit etc. (Sick-Building-Syndrom) hängen einerseits mit dem Lüftungsverhalten bzw. den Lüftungsmöglichkeiten, aber auch mit den Schadstoffbelastungen des Gebäudes zusammen. Ein wesentlicher Indikator für Schadstoffbelastungen in Innenräumen ist der VOC-Summenparameter (TVOC). Nach der EN 15251:2007 sind Gebäude sehr schadstoffarm, wenn alle verwendeten Stoffe sehr schadstoffarm sind und im Gebäude nicht geraucht werden darf. Sehr schadstoffarme Baustoffe sind üblicherweise natürliche Materialien, wie Stein, Glas oder Metall, die als emissionsicher gelten, sowie Materialien, die folgenden Anforderungen entsprechen:

- TVOC unterhalb 0,1 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$] bzw. 100 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
- Formaldehyd unterhalb 0,02 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$] bzw. 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
- Ammoniak unterhalb 0,01 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$] bzw. 10 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
- Krebserregende Verbindungen (IARC) unterhalb 0,002 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$] bzw. 2 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
- Material ist geruchlos (Unzufriedenheit in Bezug auf Geruch liegt unterhalb von 10 %)

Als Grenzwert für den TVOC kann auf die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft verwiesen werden. Die Richtlinie bezeichnet Konzentrationen unter $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als durchschnittlich bzw. niedrig. Konzentrationen zwischen 500 und $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gelten als leicht erhöht. Es ist hier schon zu vermuten, dass spezifische Quellen von VOC im untersuchten Raum vorhanden sind. Werte über $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gelten als deutlich erhöht. In der Richtlinie wird auch darauf hingewiesen, dass der VOC Summenparameter als Indikator für die Gesamtsituation herangezogen werden kann, aber kein alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung ist.

Tabelle 9.2: Österreichische und deutsche Orientierungswerte „TVOC, Gesamt VOC“

Bezeichnung	Bewertung der Konzentration	Raumluftkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bemerkungen
Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufte	Niedrig	< 250	Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig
	Durchschnittlich	250 ... 500	
	Leicht erhöht	500 ... 1.000	
	Deutlich erhöht	1.000 ... 3.000	
Schleibinger et al. (2002)	Zielwert	< 300	Keine Definition der Messmethodik, keine toxikologische Bewertung
	Richtwert	1.000	

Im Zusammenhang mit VOC ist auch auf die richtige Auswahl von schadstoffarmen Reinigungsmitteln zu achten, die ebenfalls für erhöhte VOC-Belastungen verantwortlich sein können. Unabhängige Hilfestellung für die ökologische Baustoffauswahl bieten www.oebox.at und www.ixbau.at. Unterstützung im Bereich Reinigungsmittel gibt es bei www.oekokauf.wien.at.

9.4.2 Allgemeine Dimensionierung

Qualitätskriterium 1 (M)	Anforderung
<p>Beschränkung des maximalen CO₂-Gehaltes der Klassenzimmerluft</p> <p>AUL * = CO₂-Außenluftwerte nach ÖNORM EN 13779: Land: 350 [ppm] Stadt: 400 [ppm] Stadtzentren: 450 [ppm]</p> <p>Für die 61 Qualitätskriterien und die Luftmengen von Kriterium 2 wurden 400 [ppm] als Außenluft-Ausgangswert angesetzt.</p>	<p>Der CO₂-Gehalt im Klassenzimmer sollte max. 1.200 [ppm] (400+800) betragen (IDA 3 mittlere Raumlufqualität – Standardwert).</p> <p>Zielwert: max. 1.000 [ppm] (400+600) (IDA 2 hohe Raumlufqualität – Maximalwert)</p> <p>Die CO₂-Werte dürfen bei einer Luftmengenreduktion aufgrund der Feuchteregelung bei Außentemperaturen unter 0°C bis max. 1.400 [ppm] (400 + 1000) ansteigen.</p> <p>Info: Raumlufqualität nach ÖNORM EN 13779:</p> <ul style="list-style-type: none"> IDA 1: spezielle Raumlufqualität < 350 über AUL* IDA 2: hohe Raumlufqualität + 400 bis 600 (Standardwert 500) ppm über AUL* IDA 3: mittlere Raumlufqualität + 600 bis 1000 (Standardwert 800) ppm über AUL* IDA 4: niedrige Raumlufqualität > 1.000 über AUL*

Eine hohe Raumlufqualität zu erreichen, ist das Ziel einer Lüftungsanlage. Nach ÖNORM EN 13779:2008 bedeutet eine hohe Raumlufqualität (IDA 2), unter Einbeziehung der Außenluftkonzentration von 400 ppm (durchschnittliche Konzentration in einer Stadt), eine CO₂-Konzentration von max. 1.000 ppm. Dieser Wert deckt sich mit der Pettenkoferzahl und sollte das Ziel einer Klassenzimmerlüftung sein. Die Erzielung einer speziellen Raumlufqualität von max. 750 ppm ist aus heutiger Sicht sowohl aus energetischen, als auch aus feuchtetechnischen Überlegungen heraus für Schulklassen ein zu hoher Anspruch. Ausnahmen für eine CO₂-Überschreitung bis zum Maximalwert der IDA Klasse 3, d.h. max. 1.400 ppm, können aufgrund der einzuhaltenden relativen Luftfeuchte gemacht werden (siehe Qualitätskriterium 2), da ansonsten nur Lüftungsanlagen mit aktiver Befeuchtung eingesetzt werden könnten. Der verpflichtende Einsatz einer Befeuchtung erscheint zum derzeitigen Zeitpunkt ebenfalls als ein zu hoher Anspruch. Weitere Informationen zum Thema CO₂ finden sich im Kapitel Raumlufqualität. Aufgrund unterschiedlicher Belegung, Aktivitätsgrad etc. kann es auch bei einer ordnungsgemäßen Dimensionierung zeitweise zu einer Überschreitung der CO₂-Werte kommen. Diese Überschreitungen sollten sich aber auf 10 % der Zeit beschränken und unter 1.900 ppm liegen.

Qualitätskriterium 2 (M)	Anforderung																					
<p>Mindestluftmengen pro Schüler für die Auslegung (ergeben sich aus der max. CO₂-Anforderung von Kriterium 1)</p> <p>Es ist zulässig, diese Werte im Betrieb zur Feuchteregelung zu unterschreiten.</p>	<p>Altersabhängige Rate:</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>für ca. 1200 [ppm]</td> <td>für Zielwert ca. 1000 [ppm]</td> </tr> <tr> <td>0–6</td> <td>19 [m³/h]</td> <td>25 [m³/h] (z.B. Kindergarten)</td> </tr> <tr> <td>6–10</td> <td>19 [m³/h]</td> <td>25 [m³/h] (z.B. Volksschule)</td> </tr> <tr> <td>10–14</td> <td>23 [m³/h]</td> <td>30 [m³/h] (z.B. Hauptschule)</td> </tr> <tr> <td>14–19</td> <td>24 [m³/h]</td> <td>33 [m³/h] (z.B. AHS, BHS)</td> </tr> <tr> <td>über 19</td> <td>25 [m³/h]</td> <td>34 [m³/h] (z.B. FH, UNI,...)</td> </tr> <tr> <td>Lehrperson</td> <td>28 [m³/h]</td> <td>37 [m³/h]</td> </tr> </table>		für ca. 1200 [ppm]	für Zielwert ca. 1000 [ppm]	0–6	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Kindergarten)	6–10	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Volksschule)	10–14	23 [m ³ /h]	30 [m ³ /h] (z.B. Hauptschule)	14–19	24 [m ³ /h]	33 [m ³ /h] (z.B. AHS, BHS)	über 19	25 [m ³ /h]	34 [m ³ /h] (z.B. FH, UNI,...)	Lehrperson	28 [m ³ /h]	37 [m ³ /h]
	für ca. 1200 [ppm]	für Zielwert ca. 1000 [ppm]																				
0–6	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Kindergarten)																				
6–10	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Volksschule)																				
10–14	23 [m ³ /h]	30 [m ³ /h] (z.B. Hauptschule)																				
14–19	24 [m ³ /h]	33 [m ³ /h] (z.B. AHS, BHS)																				
über 19	25 [m ³ /h]	34 [m ³ /h] (z.B. FH, UNI,...)																				
Lehrperson	28 [m ³ /h]	37 [m ³ /h]																				

Grundsätzlich ist es natürlich aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten problematisch, konkrete Empfehlungen für die Mindestluftmengen auszusprechen. Die Projektgruppe hat sich dennoch dazu entschlossen, um für die Planung eine Größenordnung anzugeben, bei der in den meisten Fällen das CO₂-Ziel erreicht wird und keine Überdimensionierung vorliegt. Es ist jedem Planungsteam zu raten, entsprechend den tatsächlichen individuellen Verhältnissen, insbesondere der Lüftungseffektivität und der Außenkonzentration an CO₂, die Luftmengen zur Zielerreichung individuell zu bestimmen.

Die Anforderung der personenbezogenen Frischluftmenge für eine Klassenzimmerlüftung ergibt sich primär aus der Anforderung der CO₂-Konzentration der Raumluft und ist insbesondere abhängig von folgenden Faktoren:

- geforderte Luftqualität bzw. CO₂-Gehalt im Aufenthaltsbereich bzw. im Kopfbereich der SchülerInnen
- Qualität der Außenluft (CO₂-Außenluftkonzentration Land: 350 ppm, Stadt: 400 ppm, Stadtzentren 450 ppm nach EN 13779:2008)
- Anzahl, Alter, Gewicht bzw. Hautoberfläche der SchülerInnen
- Aktivitätsgrad bzw. metabolische Wärmeproduktionsrate
- Raumvolumen
- Falschluftrate des Gebäudes bzw. des Klassenzimmers
- Zeit bis zur nächsten Möglichkeit der zusätzlichen Fensterlüftung
- Lüftungseffektivität

Insbesondere der Aktivitätsgrad, die Falschluftrate des Gebäudes und die Lüftungseffektivität unterliegen in der Praxis großen Schwankungsbreiten. Auch die Möglichkeit der zusätzlichen Fensterlüftung kann sich durch zusätzliche Vorgaben, z.B. „Fenster dürfen aus Sicherheitsgründen nicht mehr ganz geöffnet werden“, rasch ändern.

Für die Berechnung nach den angeführten Formeln der Luftmengen pro Schüler bzw. Schülerin wurden daher folgende Festlegungen getroffen:

- Die Werte sind so ausgelegt, dass bei diesen Außenluftvolumenströmen eine CO₂-Konzentration von ca. 1.200 ppm bzw. als Zielwert 1.000 ppm erreicht wird.
- 25 Schüler anwesend + eine Lehrperson
- CO₂-Ausstoß pro Schüler lt. Gleichungen des Kapitels Raumlufqualität
- 25 Schüler (12 weiblich 13 männlich) + eine Lehrperson
- Als Außenluftqualität wurde der CO₂-Gehalt von 400 ppm für den Stadtbereich angesetzt.
- Metabolische Wärmeproduktionsrate der Schüler von 70 W/m² (analog Vorschlag ÖNORM H 6039, Stand 9.1.2008). Für den Kindergarten ist eine erhöhte Wärmeproduktionsrate von 90 W/m² (Aktivität: zwischen sitzen und gehen) und für die Lehrperson 80 W/m² (analog Vorschlag ÖNORM H 6039, Stand 9.1.2008) angesetzt. Bei Aktivität steigen die Wärmeproduktionsrate und auch der CO₂-Ausstoß aber stark an, sodass nicht in allen Schulsituationen mit diesen Außenluftmengen die geforderten CO₂-Werte eingehalten werden können. Die meiste Zeit sollten sich aber mit den angegebenen Luftmengen die angestrebten Werte von 1000 bzw. 1200 ppm einhalten lassen.
- 200 m³ Raumvolumen. Dies entspricht einer typischen österreichischen Klasse nach ÖISS mit einer Fläche von 62,5 m² mit einer Raumhöhe von 3,2 m.
- Dichtes Gebäude, d.h. vernachlässigbare Falschluff über Fugen und Ritzen. Auch wenn dies derzeit nicht bei allen Gebäuden gegeben ist, muss man damit rechnen, bzw. hoffen, dass bei einer zukünftigen Sanierung diese Dichtigkeit erreicht wird. Sehr oft wird argumentiert, dass man für Schulgebäude keine so dichte Hülle benötigt, da man ja sowieso lüften muss. Es ist aber aus bauphysikalischen Gründen unbedingt notwendig eine dichte Hülle anzustreben. Außerdem führt eine undichte Gebäudehülle zu einer unerwünschten Austrocknung der Luft während der ungenutzten Zeit, sodass das Problem der niedrigen Luftfeuchten in Klassenzimmern deutlich verstärkt bzw. dadurch geschaffen wird.
- Die Luftmengen wurden ohne unterstützende Fensterlüftung in den Pausen berechnet, da sich die Verhältnisse leicht ändern können; z.B. durch neue sicherheitstechnische Vorgaben, die eine ausreichende Zusatzlüftung nicht mehr ermöglichen. Der Einfluss der Fensterlüftung wird, wie bei den Modellvariationen gezeigt, oft überschätzt, da der Zeitraum ohne Fensterlüftung zumindest mit einer Doppelstunde (1,5 Std.) anzusetzen ist.
- Für die Lüftungseffektivität wurde eine vollständige Durchmischung angesetzt. Bei der zu bevorzugenden Quelllüftung ergeben sich zumindest theoretisch bessere Verhältnisse bzw. etwas kleinere Luftmengen. Aufgrund der Verwirbelungen durch die Personen, die Heizung und die solare Einstrahlung ergibt sich in einem Klassenzimmer auch bei einer Quelllüftung meist jedoch auch eine fast vollständige Durchmischung. (Hinweis: Auch im REHVA-Guidebook

Nr. 2 wird davon abgeraten, bei einer Quelllüftung die Luftmengen für die Auslegung zu reduzieren.)

- Zusätzliche Luftmengen für die Abfuhr von Schadstoffen wurden nicht berücksichtigt.

Die Berechnungen der Außenluftmengen erfolgt nach den angeführten Formeln der EN 13779:2008, die Berechnung der Körperoberfläche bzw. des CO₂-Ausstoßes von Personen nach den angeführten Formeln von Ruch und Patton (1965). Die Werte passen mit den meisten Richtwerten der verschiedenen Normen (siehe Kapitel Raumluftqualität) gut zusammen, bzw. liegen gesamt gesehen im „Mittelfeld“.

Qualitätskriterium 3 (M)	Anforderung
Ausreichende Luftfeuchte auch im Winter, bzw. bei sehr niedrigen Außentemperaturen	<p>Anzustrebender Bereich: 30 bis 60 % r.F.</p> <p>Es ist sicherzustellen, dass auch bei sehr kalten Außentemperaturen folgende relative Luftfeuchtigkeiten nicht unterschritten werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Von 0°C bis -10°C Tagesmitteltemperatur dürfen die 30 % r.F. pro °C unter Null °C um 1 % unterschritten werden. • unter 20 % soll die relative Feuchte nicht abfallen.

Die untere Grenze des optimalen Behaglichkeitsbereichs ist in der DIN 1946-2:1998 bzw. EN 13779:2008 mit 30 % relativer Feuchte angegeben. Nach Leusden und Freymark (Leusden, Freymark) gilt der Bereich bis zu einer relativen Luftfeuchte von 20% als „noch behaglich“. 20 % Luftfeuchte sollten nicht unterschritten werden, da es sonst zu Reizungen der Schleimhäute und zu Beschwerden über trockene Augen kommen kann (insbesondere KontaktlinsenträgerInnen). Auch für Parkettböden, Möbel etc. bedeuten Feuchtigkeiten unter 30 % r.F. teilweise einen Verfall der Gewährleistung bzw. Garantieleistung.

Da bei sehr kalten Außenlufttemperaturen und bei Lüftungsanlagen ohne Befeuchtungsmöglichkeit die Luftfeuchte mit dem CO₂-Gehalt der Luft konkurriert, ist für einen begrenzten Zeitraum ein Kompromiss aus CO₂- und Feuchteanforderung zu finden. Bei hohen Ansprüchen bezüglich der Luftfeuchte ist eine hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung vorzusehen. Bei einer zu garantierenden relativen Luftfeuchte über 30 % ist eine aktive Befeuchtung notwendig. Wesentlich für die Erreichung des Zielbereiches ohne aktive Befeuchtung ist eine optimale Anpassung der Luftmengen an die Anwesenheit bzw. die Klassenbelegung, da die SchülerInnen die wesentlichen Feuchtequellen darstellen.

Bei undichten Gebäudehüllen bzw. nicht an den Bedarf angepassten Lüftungszeiten kommt es ohne Befeuchtung unweigerlich zu einer sehr trockenen Raumluft, da sich in den unterrichtsfreien Zeiten, abhängig von Außentemperatur und Außenluftfeuchte, ein entsprechender Feuchtegehalt der Raumluft einstellt. Hier kann auch eine

Feuchterückgewinnung nur bedingt eine Milderung verschaffen. Ohne Feuchteintrag ergeben sich je nach Außenluftbedingungen folgende Raumlufffeuchten bei 20°C:

Tabelle 9.3: Rel. Raumlufffeuchte bei 20°C ohne Belegung (Feuchteintrag) abhängig von Außentemperatur und Außenfeuchte

Außentemperatur [°C]	Relative Feuchte [r.F.]	Raumfeuchte ohne Feuchteintrag bei 20°C [r.F.]
+3	80 %	27 %
0	80 %	22 %
-5	80 %	20 %
-10	80 %	11 %
-15	80 %	8 %
-20	80 %	5 %

Voraussetzungen für ausreichende Feuchtwerte:

- Dichte Gebäudehülle
- Anpassung der Luftmenge an Bedarf (Anwesenheit; ev. Schülerzahlen; gemessene Luftqualität)

Lösungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Feuchtwerte:

- Erhöhter Feuchteintrag in der Klasse (z.B. durch Pflanzen) – jedoch Problematik der erhöhten Feuchte in den warmen Monaten und der Betreuung in den Ferien
- Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung
- Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung (direkt in der Klasse oder mit der Lüftung)

Qualitätskriterium 4 (M)	Anforderung
<p>Geringer A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{A,eq}$ und Beschränkung des tieffrequenten Anteiles im Klassenzimmer, sowie geringe Schallbelastung im Außenbereich</p> <p>*Achtung: Werte liegen über der B 8115-2 und bedürfen bei zentralen Anlagen einer besonderen vertraglichen Fixierung.</p>	<p>a) Im Klassenzimmer:</p> <p>Max. 25 [dB(A)] bei sehr hohen Anforderungen (z.B. Musikräume)</p> <p>Max. 30* [dB(A)] bei hohen Anforderungen (gute Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Klassenräume)</p> <p>Max. 35* [dB(A)] bei mittleren Anforderungen (nur bedingte Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Werkräume)</p> <p>Max. 30* [dB(A)] für Lehrerzimmer</p>
	<p>b) Zur Beschränkung der tieffrequenten Anteile darf die Differenz zwischen A- und C-Bewertung nicht mehr als 20 [dB] betragen.</p>
	<p>c) Beschränkung der Schallbelastungen im Außenbereich gemäß ÖNORM S 5021 bzw. ÖAL Richtlinie 3.</p>

Die ÖNORM B 8115-2:2006 verlangt für haustechnische Anlagen grundsätzlich A-bewertete Schalldruckpegel von max. 25 dB(A), bezogen auf eine Nachhallzeit von 0,5 s, für gleich bleibende oder intermittierende Geräusche in Bereichen mit längerem Aufenthalt von Menschen. Ausdrücklich gilt die Norm auch für Schulen. Die Norm nimmt aber auch die der jeweiligen Nutzungseinheit ausschließlich zugeordneten haustechnischen Anlagen von diesen Forderungen aus. Genau genommen gilt die Anforderung daher nur für zentrale Anlagen, da eine dezentrale Anlage direkt der Nutzungseinheit bzw. dem Klassenzimmer zuzuordnen ist.

Nach der ÖNORM EN 13779:2008 liegt der empfohlene Bereich des maximalen A-bewerteten Schalldruckpegels von Lüftungsanlagen für Schul- und Kindererziehungseinrichtungen zwischen 35 und 45 dB(A).

Der Vorschlag der ÖNORM H 6039 Stand 9.1.2008 orientiert sich an der EN 13779:2008 und legt für Klassenzimmer max. 35 dB(A) und für Musikzimmer max. 30 dB(A) fest.

So streng die Werte der ÖNORM B 8115-2:2006 sind, so gering erscheint der Anspruch der ÖNORM EN 13779:2008. Hier wurde für die 61 Qualitätskriterien ein Ausgleich angestrebt und ein Mittelweg beschrieben, da der Grundschallpegel (Ruhe-schallpegel) im normalen Schulbetrieb mit den Schülern nur selten unter 25 dB(A) liegt. Ausnahmen bilden aber Prüfungssituationen bzw. Arbeiten in kleinen Gruppen. Eine Unterscheidung in zentrale und dezentrale Anlagen wurde nicht vorgenommen, da es für die Nutzer nicht von Bedeutung ist ob die Lärmbelastung von einer zentralen oder dezentralen Lüftungsanlage kommt. Es bedarf daher bei zentralen Anlagen einer gesonderten vertraglichen Vereinbarung über den zulässigen Schallpegel, wenn man Werte über den 25 dB(A) der ÖNORM B 8115-2:2006 zulassen möchte.

Ein weiterer, bisher oft zu wenig beachteter Problembereich ist der Dauerschallpegel in tiefen Frequenzen (ca. 10 bis 100 Hz). Er wird durch den Betrieb einer Lüftungsanlage im Nutzungsbereich häufig um ca. 10 bis 15 dB angehoben. Ursache ist vor allem der Betrieb von Ventilatoren und raumluftechnischen Geräte mit mangelhafter Vibrationsdämpfung. Die Ausbreitung erfolgt einerseits als Luftschall über die Luft führenden Wege, andererseits auch als Körperschall über mitschwingende Bauelemente. Zu einer nennenswerten Lärmbelastung kommt es dabei selten.

Zahlreiche Verdachtsmomente in der einschlägigen Literatur weisen jedoch darauf hin, dass die Langzeitbelastung (ca. 3–8 Std.) mit tieffrequentem Dauerschall bereits knapp oberhalb der Wahrnehmungsschwelle unspezifische Befindensstörungen wie Ermüdung, Konzentrationsstörungen, Benommenheit und Kopfschmerzen hervorrufen (Recknagel et al, 2007/2008).

Die ÖNORM B 8115-2:2006 berücksichtigt diesen Aspekt und der C-bewertete Schallpegel darf nicht mehr als 20 dB über dem Grenzwert für den A-bewerteten Schallpegel liegen. Für die Schallbelastung nach außen sind die ÖNORM S 5021:1998 „Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung“, sowie die ÖAL Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 „Beurteilung von Schallmissionen im Nachbarschaftsbereich“, zu beachten.

Qualitätskriterium 5 (M)	Anforderung
Temperatur beim Einströmventil auf Behaglichkeitsniveau	a) Minimale Zulufttemperatur: max. 3°C unter der Raumtemperatur und mindestens 19°C
	b) Maximale Zulufttemperatur bei Nacherwärmung: Raumtemperatur

Die Forderung einer minimalen Zulufttemperatur dient der Verhinderung von Zugscheinungen und von Kaltluftseen bei Quellluftsystemen. Über die Raumtemperatur hinaus sollte die Luft nicht erwärmt werden. Unter Berücksichtigung der Temperaturanhebung der Außentemperatur (z.B. durch den Erdwärmetauscher, bzw. den Frostschutzregister), der Ablufttemperatur beim Lüftungsgerät (Achtung: kann deutlich von der Raumlufttemperatur abweichen), der Temperaturanhebung durch die Ventilatoren und die Wärmerückgewinnung, kann ermittelt werden, ob eine zusätzliche Nacherwärmung notwendig ist oder nicht.

Qualitätskriterium 6 (M)	Anforderung
Geringes Zugluftisiko im Aufenthaltsbereich	Zugluftisiko im Aufenthaltsbereich von max. 15 % nach EN ISO 7730, bzw. 0,13 [m/s] bei 20°C Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich nach ÖNORM EN 13779 Zielwert: max. 10 % nach EN ISO 7730, bzw. max. 0,10 [m/s] bei 20°C Raumtemperatur

Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt die mittlere Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich (Messung über 3 Minuten) lt. der folgenden Tabelle an. Die Standardwerte beziehen sich auf ein Zugluftisiko von 15 % nach EN ISO 7730:2006. Die minimale Raumtemperatur von Klassenräumen und Betreuungsräumen liegt nach unterschiedlichen Vorschriften bei zumindest 20°C. Es darf daher eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,13 m/s nicht überschritten werden. Insbesondere bei Quellluftauslässen ist jedoch zu beachten, dass die lokale Temperatur (zwischen Zuluft- und Raumtemperatur) für die Bemessung anzusetzen ist.

Tabelle 9.4: Auslegungswerte für die Luftgeschwindigkeit nach ÖNORM EN 13779:2008

Lokale Lufttemperatur [°C]	Üblicher Bereich [m/s]	Standardwert [m/s]
20	0,10–0,16	0,13
21	0,10–0,17	0,14
22	0,11–0,17	0,15
24	0,13–0,21	0,17
26	0,15–0,25	0,20

Qualitätskriterium 7 (M)	Anforderung	
Keine Einbeziehung problematischer Abluft in die Klassenzimmerlüftung	a) Keine Abluft aus Dunstabzugshauben von Schulküchen, problematischen Laborbereichen bzw. Experimentalbereichen (z.B. Physik-Chemiesälen)	
	b) Dezentral: Keine Relevanz	b) Zentral: Einbeziehung von Werkräumen und Sanitärräumen nur bei Lüftungsgeräten mit geringen internen Leckraten (unter 3 %)

Hoch belastete Abluft aus Schulküchen und die Abluft aus den Experimentalbereichen von Physik- bzw. Chemiesälen sollte nicht in zentrale Lüftungsanlagen einbezogen werden, um Geruchsbelastungen auszuschließen. Allgemeine Werkräume und Sanitärräume sind bei dichten Wärmetauschern (Plattenwärmetauschern) unproblematisch. Bei Rotationswärmetauschern sind nur Geräte mit geringen internen Leckagen bzw. entsprechender Frischluftspülung der Tauscherkammern zu achten. 3 % Leckagen werden von der Geruchsseite als unproblematisch angesehen.

Qualitätskriterium 8 (M)	Anforderung	
Rechtzeitige Festlegung der Anforderungen an andere Gewerke für eine kostenoptimierte Umsetzung	a) Rechtzeitige Festlegung des Platzbedarfes, der Wanddurchbrüche, notwendige Höhen der Bodenaufbauten, Leitungsführung in tragenden Elementen, EWT, Elektro- und Steuerleitungen, Kondensatablauf, Überströmöffnungen, ...	
	b) Einrechnung der Wärmerückgewinnung in die Heizlast des Gebäudes entsprechend der EN 12831	
	c) Maßnahmen gegen eine Verschmutzung der Anlage bzw. Luftleitungen in der Bauphase	

Eine frühzeitige Entscheidung für eine Lüftungsanlage und die frühzeitige Einbindung in den Gesamtplanungsprozess (integrale Planung) führt zu einer kostenoptimierten Lösung. Für Schulklassen ohne mechanische Lüftung wird die Heizlast nach der ÖNORM EN 12831:2002 mit einem geringeren Luftwechsel als für Schulklassen ohne mechanische Lüftungsanlage berechnet. Die genaue Festlegung der Auswirkungen bzw. Anforderungen auf andere Gewerke (z.B. Erdbauer, Baumeister, Statiker, Tischler / Innenausbauer, Elektriker, Regelungstechniker, ...) und die Vorkehrungen zur Vermeidung von Verschmutzung der Anlage in der Bauphase sparen Ärger und Kosten.

Qualitätskriterium 9 (M)	Anforderung
Genauer Verlegungsplan und nachvollziehbare Anlagenausführung bzw. Anlagendetails	a) Verlegungsplan mit Rohrquerschnitten, Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten,
	b) Fotodokumentation der Rohrleitungen bzw. der später nicht sichtbaren Anlagendetails

Aufgrund der großen Rohrquerschnitte ist eine frühzeitige Planung der Rohrführung notwendig. So können Durchbrüche, Ausnehmungen, etc. schon bei den Baumeisterarbeiten berücksichtigt werden. Dies gilt besonders auch beim EWT.

Planungsregel: Luftleitungen gehen vor Wasserleitungen und diese wiederum vor Elektroleitungen. Für die Abnahme bzw. die später einmal notwendige Anlagenreinigung, sowie für die Adaptionen bei einem Umbau der Räumlichkeiten sollten die tatsächliche Luftleitungsführung und die zugehörigen Details auch bildlich dokumentiert werden.

Qualitätskriterium 10 (M)	Anforderung
Nachweis der vollständigen Gebrauchsfähigkeit der Gesamtanlage	Inbetriebnahmeprotokoll, bzw. Prüfungen nach ÖNORM EN 12599

In ÖNORM EN 12599:2000 werden die Prüfungen, Prüfverfahren und Messgeräte zur Feststellung der Gebrauchstauglichkeit von eingebauten Anlagen zum Zeitpunkt der Übergabe geregelt (Vorschlag ÖNOROM H 6039:Stand 9.1.2008).

Qualitätskriterium 11 (M)	Anforderung
Nachweisliche Sicherstellung der geplanten Luftmengen	Nachvollziehbares Einregulierungsprotokoll für die einzelnen Klassen/Räume bzw. Kontrolle der Luftmengen bei bedarfsgeregelten Luftmengen bzw. Konstantvolumenstromregelungen

Um in den einzelnen Räumen die geplanten Luftmengen sicherzustellen, bedarf es einer gewissenhaften Einregulierung mit Einregulierungsprotokoll bzw. der Verwendung von (Konstant)-Volumenstromreglern. Ansonsten kommt es zu einer Unterversorgung bzw. zu einer Überversorgung einzelner Räume. Die Stellung der einzelnen Einstellvorrichtungen sollte gekennzeichnet und dokumentiert werden. Bei automatisch geregelten Luftvolumenströmen sollten die Luftmengen zumindest stichprobenweise nachgeprüft werden.

Qualitätskriterium 12 (M)	Anforderung
Übergabe der Anlage, der Betriebs- und Instandhaltungsanleitung, des Inbetriebnahmeprotokolls, sowie der gesamten Anlagendokumentation an den Auftraggeber	Unbedingt notwendig – Nachvollziehbare Übergabe

Zur Übergabe der Lüftungsanlage gehören auch die Aushändigung von Betriebs- und Wartungsanleitungen, des Inbetriebnahmeprotokolls sowie der gesamten Anlagendokumentation (aktualisierte Bestandszeichnungen, Fotodokumentationen) der Anlage.

Qualitätskriterium 13 (M)	Anforderung
Einweisung jeder (neuen) Schulbetreuung in die Funktion und Bedienung der Anlage sowie Übergabe einer Kopie der Betriebs- bzw. Wartungsanleitung	Unbedingt notwendig – Nachvollziehbare Dokumentation der Einweisung

Das Einweisen des Betriebspersonals bzw. des Gebäudeverantwortlichen nach VDI 3801:2000 ist ein wesentlicher Garant für einen zufrieden stellenden Betrieb. Eine Einweisung sollte aber nicht nur bei Übernahme der Anlage erfolgen, sondern auch bei jeder Änderung des Betriebspersonals (Schulwart), welches mit der Lüftungsanlage vertraut sein sollte. Zusätzlich zur Einweisung der Anlage wird eine Schulung über Hygieneanforderungen von raumluftechnischen Anlagen empfohlen.

Qualitätskriterium 14 (M)	Anforderung
Gesicherter, hygienischer und energiesparender Betrieb und professionelle Instandhaltung der Anlage	a) Ausführung, Reinhaltung und Reinigung nach ÖNORM H 6021 bzw. VDI 6022
	b) Betrieb und Instandhaltung der Lüftungsanlage soll anhand der VDI 3801 mit einem Pflichtenheft durchgeführt werden
	c) Kontinuierliche Aufzeichnung der durchgeführten Arbeiten und Kosten
	d) Überwachung des Energieverbrauches durch Energiebuchhaltung oder eine andere Form der Aufzeichnung
	e) Regelmäßige Überprüfung des energiesparenden Betriebes gemäß EN 15239 bzw. EN 15240

Die Ausführung, Reinhaltung und Reinigung der Lüftungsanlage soll nach der ÖNORM H 6021:2003 bzw. VDI 6022:2006 und deren Checklisten erfolgen, der Betrieb und die Instandhaltung nach der VDI 3801:2000 von befähigtem Personal durchgeführt werden. In Schulen und Kindergärten ist ein Instandhaltungsvertrag mit

geeigneten Betrieben zu empfehlen, da meistens dazu befähigtes eigenes Personal nicht zur Verfügung steht.

Es sollten genaue Aufzeichnungen über die durchgeführten Reinigungs- und Instandhaltungstätigkeiten, den Energiebedarf und deren Kosten geführt werden. Die European Building Directive (EPBD) verlangt eine regelmäßige Überprüfung von Lüftungsanlagen hinsichtlich Energieeffizienz nach der ÖNORM EN 15239:2007 für Lüftungsanlagen bzw. ÖNORM EN 15240:2007 für Klimaanlageanlagen.

Qualitätskriterium 15 (M)	Anforderung
Ausreichende Information von LehrerInnen und SchülerInnen über die Funktion und Wirkungsweise der Lüftungsanlage	Unbedingt notwendig – Möglichst mit Infoblatt

Die ausreichende Information der Nutzer ist ein wesentlicher Punkt für eine hohe Nutzerzufriedenheit. Bei einer durchschnittlichen Anlage kann die Informationspolitik den entscheidenden Ausschlag für eine positive oder unzureichende Akzeptanz sein.

9.4.3 Ansaugung, Fortluft, Erdreichwärmetauscher

Qualitätskriterium 16 (M)	Anforderung
Unbelastete, schneefreie und vandalensichere Außenluft-Ansaugung	a) Ausreichender Abstand von Parkplätzen, Mülllagerplätzen, Abgasfängen, etc. (zumindest 8 m lt. EN 13779)
	b) Schneefreie, vandalensichere Ansauganlage bzw. Ansaughöhe. Mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe

Die Zuluftqualität ist direkt abhängig von der Luftqualität im Ansaugungsbereich. Die Ansaugstelle sollte sich daher nicht in der Nähe von Parkplätzen, Mülllagerplätzen, Komposthaufen, etc. befinden. Dabei ist jedoch nicht nur an die derzeit belasteten Bereiche, sondern auch an die in Zukunft möglichen Belastungen und die der Nachbargebäude zu denken. Der Abstand beträgt nach ÖNORM EN 13779:2008 zumindest 8 m.

Auf jeden Fall soll darauf geachtet werden, dass sich die Frischluftansaugung in einer Höhe befindet, in der sie ohne Hilfsmittel nicht zu erreichen ist (Vandalensicherheit), aber trotzdem für etwaige Filterwechsel und Kontrollen zugänglich ist. Die Ansaughöhe nach der ÖNORM EN 13779:2008 sollte zumindest 3 m bzw. mindestens die 1,5-fache Höhe der maximalen Schneehöhe betragen.

Qualitätskriterium 17 (M)	Anforderung	
Kein Luftkurzschluss zwischen Außenluftansaugung und Fortluftauslass	Dezentral: Abstand in derselben Wand mindestens 2 m oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779 Zielwert: 3 m und Ansaugung unterhalb der Fortluft; bei Eckräumen andere Fassadenseite	Zentral: Horizontaler Abstand zueinander mindestens 3 m oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779 Zielwert: Ansaugung über Gebäudeseite und Fortluftführung über Dach

Sind der Fortluftauslass und die Frischluftansaugung zu nahe aneinander, kommt es zu einem Luft-Kurzschluss und damit zu einer Vermischung der angesaugten Außenluft mit der Fortluft, sodass die Anlage nicht die gewünschte Wirkung erbringen kann. Nach Möglichkeit sollten sich daher die Außenluftansaugung an einer Gebäudeseite und die Fortluftführung über Dach befinden. Der Mindestabstand von 2 bzw. 3 Metern kann auch über Trennwände und dergleichen erreicht werden. Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt den Abstand zwischen Frischluftansaugung und Fortluftauslass in Abhängigkeit der Fortluftqualität und dem vertikalen Abstand an. Bei der Annahme, dass die Fortluftqualität bei Schulen der FOL-Klasse 1 nach EN 13779:2008 ent-

spricht (niedriger Verschmutzungsgrad), ist ein Abstand von 3 Metern ausreichend. Des Weiteren sollte der Fortluftauslass bei vertikaler Anordnung möglichst über der Frischluftansaugung angebracht werden. Für dezentrale Lüftungsanlagen mit Außenluftansaugung und Fortluftauslass über die gleiche Wand ist in der EN 13779 ein Mindestabstand von 2 Metern vorgesehen.

Für zentrale Anlagen mit Außenluftansaugung und Fortluftführung über Dach können die Mindestabstände auch aus folgendem Bild abgelesen werden:

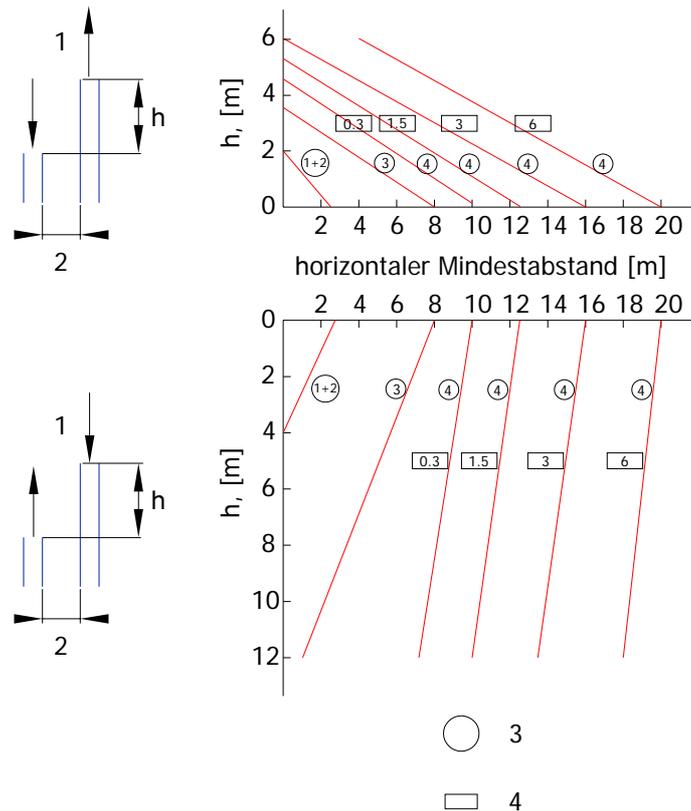


Abbildung 9.16: Vertikaler und horizontaler Abstand der Außenluftansaugung und dem Fortluftauslass nach ÖNORM 13779, (2008)

Bild oben: Fortluftauslass über Frischluftansaugung
 Bild unten: Fortluftauslass unter Frischluftansaugung
 Vertikaler Abstand (1 Y-Achse) h [m]
 Horizontaler Abstand (2 X-Achse)
 Fortluftqualität (FOL1–FOL4 nach ÖNORM EN 13779) (3)
 Luftgeschwindigkeit im Fortluftauslass in [m/s] (4)

Für andere Situationen gibt es in der EN 13779:2008 eine ausführliche Übersicht mit 17 verschiedenen Fällen.

Qualitätskriterium 18 (M)	Anforderung	
<p>Außenluftansaugung mit geringem Druckverlust, Schutz vor Regen, Schnee und direkter Sonnenbestrahlung sowie Kleintieren bzw. entsprechender Filterung bei Anlagen mit EWT</p> <p>Info: Unten quer stehend und oben liegend (hygienisch nicht erwünscht) angeordnete Taschenfilter</p> 	a) Wirksamer Schutz vor Regen und Schnee sowie direkter Sonnenstrahlung	
	b) Ansaugung mit Vogelschutzgitter	
	<p>c) Dezentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 10 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]</p>	<p>c) Zentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]</p>
	c) Filter vor einem EWT zumindest F5 nach EN 779	
	<p>d) Dezentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 20 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 60 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]</p>	<p>d) Zentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 40 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 120 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]</p>
	e) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)	
	f) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich	
	g) Einfache Zugänglichkeit bzw. Reinigung des Gitters bzw. einfacher Filtertausch durch die Hausbetreuung	
h) Schutz des Filters vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90 % relative Feuchte bzw. mittlere relative Feuchte unter 80 % an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht ca. einer Temperaturerhöhung von 2°C bis zum Filter.		

Die Frischluftansaugung sollte einen möglichst geringen Druckverlust aufweisen und das Eindringen von Wasser, Schnee, Laub und Kleintieren verhindern. Dies erreicht man normalerweise durch entsprechend große Flächen und geringe Luftgeschwindigkeiten beim Ansauggitter. Die Geschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt sollte bei Einzelraumgeräten 1,5 m/s und bei zentralen Geräten 2 m/s nicht überschreiten. Der Filter vor dem Erdreichwärmetauscher soll ein Verschmutzen verhindern. Ein Filter der Klasse F5 ist ein Kompromiss zur Verhinderung von zu großer Verschmutzung und zu hohem Druckverlust. Ein feinerer Filter birgt die erhöhte Gefahr, bei kaltem und nebligem Wetter zu durchfeuchten und zu gefrieren. Zum Schutz vor

Durchfeuchtung sollte beim Filter die Luft schon um ca. 1–2°C über der Außentemperatur im Winter liegen. Dies kann entweder durch Anbringung der Filter im Gebäude bzw. nach einer kurzen Erdvorwärmung oder im Ausnahmefall durch eine geregelte elektrische Beheizung bewerkstelligt werden.

Qualitätskriterium 19 (M)	Anforderung	
Fortluftauslass mit geringem Druckverlust, Schutz vor Kleintieren	a) Dezentral: Druckverlust max. 5 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblas-querschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]	a) Zentral: Druckverlust max. 20 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblas-querschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]
	b) Mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe	

Der Fortluftauslass selbst sollte einen möglichst geringen Druckverlust und zumindest ein Gitter gegen das Eindringen von Kleintieren besitzen. Die Geschwindigkeit im freien Ausblasquerschnitt sollte bei Einzelraumgeräten 1,5 m/s und bei zentralen Geräten 2 m/s nicht überschreiten.

Qualitätskriterium 20 (M)	Anforderung	
Keine Feuchteschäden an Außenbauteilen durch die feuchte Fortluft der Lüftungsanlage	Dezentral: Die Fortluftführung ist derart ins Freie zu führen, dass die feuchte Fortluft nicht in die Fassade eindringen kann (z.B. in die Hinterlüftung) bzw. es zu keinem Stau (z.B. im Vordachbereich) kommt.	Zentral: Bei zentralen Anlagen ist die Fortluft immer über das Dach zu führen oder ein Mindestabstand von 5 m zum Gebäude einzuhalten. Die Anforderungen der Fortluftführung mit 5 [m/s] nach ÖNORM EN 13779 über die Wand widerspricht Kriterium 18.

Die Fortluft wird teilweise mit einer relativen Feuchtigkeit nahe 100 %, aber immer noch wärmer als die Außenluft ausgeblasen. Es kann daher zu Reif- bzw. Eisbildung im Umfeld des Fortluftauslasses kommen. Wenn feuchte Luft in Hinterlüftungen eindringt oder sich staut (z.B. unter dem Vordach), so kommt es teilweise zu unerwünschten Kondensat- bzw. Vereisungserscheinungen. Die Anbringung der Fortluftführung an der Wand ist daher nur bei dezentralen Einzelraumgeräten zu empfehlen und so auszuführen, dass kein Stau möglich ist. Bei zentralen Anlagen müsste bei einem Wandauslass laut ÖNORM EN 13779:2008 eine Mindestluftgeschwindigkeit von 5 m/s und ein maximaler Volumenstrom von 1.800 m³/h gegeben sein, was Kriterium 18 widerspricht. Daher ist bei zentralen Anlagen keine Anbringung des Fortluftauslasses an der Wand vorgesehen. Für den Fortluftauslass muss ein Mindestab-

stand von 5 m zum Gebäude eingehalten werden, wenn er nicht über das Dach geführt wird.

Qualitätskriterium 21 (M)	Anforderung
Geeignete Frostschutzstrategie	a) Wahl einer dem Gesamtkonzept bzw. dem Wärmetauscher angepassten Frostschutzstrategie (Luft-EWT, Sole-EWT oder konventioneller Frostschutz) Empfehlung: Sole-EWT
	b) Für Luft-EWT bzw. Sole-EWT siehe Kriterien 22–1 bzw. 22–2 für konventionellen Frostschutz Kriterium 40

Erdwärmetauscher gleichen Schwankungen der Außenluftverhältnisse, mit denen die Lüftungsanlage arbeiten muss, aus. Ein EWT wärmt im Winter die Luft bis auf ca. minus 3°C vor und kühlt sie im Sommer auf ca. 20°C ab. Dies hat den Vorteil, dass im Gerät auf eine (elektrische) Frostschutzvorrichtung bzw. je nach Wärmetauscherqualität auch auf ein Nachheizregister verzichtet werden kann und zusätzlich im Sommer durch das Lüften keine „Kühllast“ anfällt, da die Luft mit ca. 20°C statt mit zum Teil deutlich über 30°C einströmt. Eine wirkliche Kühlung, d.h. eine Abfuhr von überschüssiger Wärme im Sommer, kann die Lüftungsanlage aufgrund der geringen Luftmengen jedoch nicht bewirken.

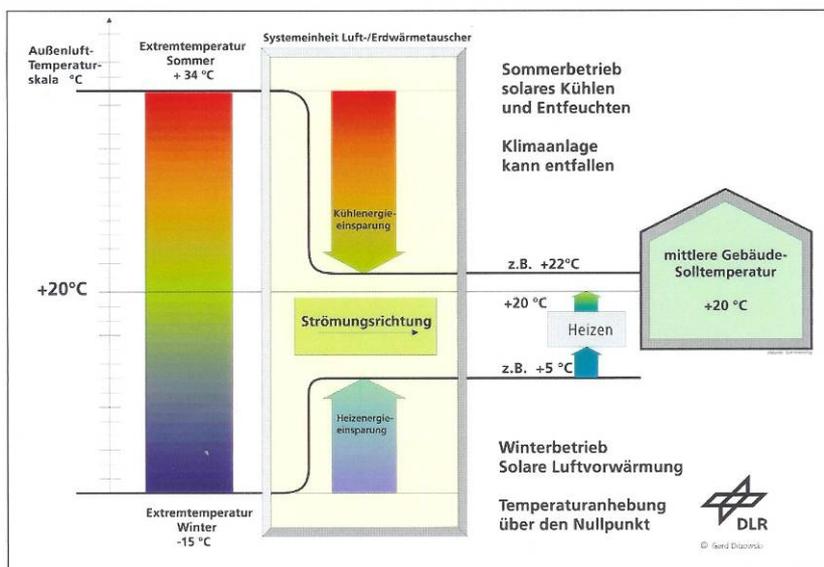


Abbildung 9.17: Wirkungsbandbreite eines Erdwärmetauschers (Quelle: DLR)

Entscheidungshilfe Sole-EWT oder Luft-EWT: Tendenziell kann für Schulen aufgrund der großen Luftmengen, der regelungstechnischen Vorteile und aus Hygieneaspekten generell ein Sole-EWT empfohlen werden. Nur für Anlagen die mit der Technik eines Einfamilienhauses vergleichbar sind (max. 350 mm Rohrdurchmesser bzw. max. 500 m³/h) ist ein Luft-EWT eventuell finanziell vorteilhafter.

Qualitätskriterium 22-1 Luft (E)	Anforderung
<p>Wirksamer, hygienisch unbedenklicher Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) als Vereisungsschutz</p> <p>Hinweis 1: Eine zeitweise Reduktion der Zuluftmenge als Vereisungsschutz sollte grundsätzlich vermieden werden.</p> <p>Hinweis 2: Elektrische Heizregister als Vereisungsschutz sollten leistungsangepasst arbeiten, und dürfen thermostatisch erst unter 0°C Außenlufttemperatur frei geschaltet werden. Die Vorwärmung der Außenluft soll an die Qualität des Wärmetauschers angepasst sein. (Je geringer die Wärmetauscherqualität desto tiefer die Temperatur.)</p> <p>Hinweis 3: Eine Nacherwärmung ist bei dezentralen Anlagen nur erforderlich, wenn weder ein EWT noch eine andere Vorwärmung zur Frostfreihaltung eingesetzt wird oder ein Wärmetauscher mit geringer Rückwärmezahl eingesetzt wird. Zentrale Anlagen benötigen fast immer eine Nacherwärmung.</p> <p>Anmerkung: Von einer Funktionsstörung ausgeschlossen sind nur Luft-EWT ohne Umschaltmöglichkeit auf Direktansaugung.</p>	a) Aus Hygienegründen und gesichertem Vereisungsschutz kein Bypass zur Umgehung des Luft-EWT
	b) Die niedrigste Temperatur der Außenluft beim Betriebsluftvolumenstrom nach dem L-EWT soll zumindest 2°C über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze liegen. Berechnungsprogramm (z.B. Freeware des Passivhausinstitutes) ergibt meist Längen zwischen 25 und 40 m pro Strang. Zielwert: über -2°C
	c) Luftgeschwindigkeit zwischen 1 und 1,5 [m/s] Rohrbeispiele: 160 mm 75–110 [m³/h] 200 mm 110–170 [m³/h] 250 mm 170–260 [m³/h] 300 mm 260–380 [m³/h] 350 mm 380–500 [m³/h]
	d) Druckverlust max. 20 Pa (Zielwert max. 10 [Pa]) beim Betriebsvolumenstrom
	e) Im Schnitt mindestens 1,5 m unter Erdreich
	f) Glattes Rohr (innen) mit guter Wärmeleitfähigkeit (keine Rohre mit Lufteinschlüssen)
	g) Keine engen 90° Bögen
	h) Kontinuierliches Gefälle mind. 2 % zur Lüftungszentrale (starres Rohr)
	i) 0,75 m Abstand zu Wasserleitungen, Abwasserkanälen, Kellerwänden, Fundamenten, etc.
	j) Geeigneter Kondensatabfluss mit Geruchsverschluss gegen den Kanal ohne Leckströmung (doppelter Siphon)
	k) Geprüfte Wasserdichtheit der Verrohrung (auch von außen nach innen – insbesondere bei Grundwasser im EWT-Bereich)
	l) Hinterfüllung und Verdichtung mit feinkörnigem Material (z.B. Sand, Erdreich)
	m) Abstand zwischen den Rohren zumindest 0,75 m, (bzw. 3 x Rohrdurchmesser), unter versiegelten Flächen 1,5 m (bzw. 6 x Rohrdurchmesser)
n) Wasserdichte Rohrdurchführung in das Haus	
o) In radonbelasteten Gebieten kein Einsatz eines Luft-EWT	

- a) Ein Bypass für den Luft-Erdwärmetauscher verbessert theoretisch die Effizienz in der Übergangszeit bzw. im Sommerbetrieb (Tag-Nacht). Diese Verbesserung ist jedoch nur gegeben, wenn die Bypassklappe wirklich dicht schließt. Falls die Bypassklappe falsch geschaltet wird bzw. nicht dicht schließt, ist ein Frostschutz durch den EWT nicht gewährleistet bzw. wird die Wirkung des EWT gegenüber einer Ausführung ohne Bypass insgesamt sogar vermindert. Auch von der hygienischen Seite ist ein dauerhaft durchströmter Luft-EWT besser. Im Sinne einer Anlagenvereinfachung und gesicherten Hygiene wird daher nicht zu einem Bypass geraten. Ist eine optimierte Regelung gewünscht, sollte auf einen Sole-EWT übergegangen werden.
- b, c) Damit ein mit Luft durchströmter Erdwärmetauscher unabhängig vom Wärmetauschertyp die Aufgabe des Vereisungsschutzes erfüllen kann, muss die Temperatur nach dem EWT zumindest zwei Grad über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze betragen. Dies soll durch ein entsprechendes Berechnungsprogramm nachgewiesen werden. (z.B. Freeware des Passivhausinstitutes Darmstadt). Bei durchschnittlichem Erdreich erreicht man dies mit einem ungefähr 1,5 m unter dem Erdreich verlegten EWT mit ca. 25 bis 40 m Länge je Strang, wenn die Luftgeschwindigkeit zwischen 1 und 1,5 m/s beträgt.
- d) Um den zusätzlichen Gesamtdruckverlust bzw. den Strombedarf gering zu halten sollte der Druckverlust im Luft-EWT max. 20 Pa betragen.

Ein Beispiel einer Berechnung mit dem Programm des Passivhausinstitutes für 380 m³/h (Temperaturen, Energiemengen, Druckverlust).

The screenshot shows the 'Erdreichwärmetauscher' software interface. The window title is 'Erdreichwärmetauscher'. The interface is divided into several sections:

- Header:** Datei, Datensatz, Wetterregion, Betriebszeit.
- Input Parameters:**
 - Erdreich:** Bodentyp: Sandboden; Dichte [kg/m³]: 1520; Wärmeleitfähigkeit [W/mK]: 1,24; Temperaturleitfähig. [m²/s]: 4.944e-.
 - Randbedingung:** Luftvolumenstrom [m³/h]: 380; Verlegetiefe [m]: 1,5; Tiefe Grundwassersp. [m]: 30.
 - Lüftungskanal:** Rohrdurchmesser [mm]: 300; Rohrwandstärke [mm]: 5; Rohrrauigkeit [mm]: 1; Wärmeleitfähigkeit [W/mK]: 1,5; Länge der Einzelrohre [m]: 30.
- Results (Ergebnisse):**
 - min. Austrittstemperatur [°C]: -4,10
 - Wärmezu / abfuhr [kWh/a]: 1747 -907
 - Netto-Wärmeabgabe [kWh/a]: 839,4
 - Druckverlust [Pa]: 17,5
 - Jahresarbeitszahl [-]: 8,94
 - Wärmebereitstellungsgrad [%]: 7,51
- Calculation (Berechnung):** Berechnung starten, Grafik anzeigen.
- Rohrregister:** Anzahl der Rohre [-]: 2; Durchmesser Verteiler [mm]: 200; Ventilatorwirkungsgrad [%]: 15; Abstand der Rohre [m]: 1; Durchströmung nach Tichelmann (selected), Durchströmung in Mäanderform.

Abbildung 9.18: Benutzeroberfläche des Auslegeprogramms PHLuft vom Passivhausinstitut, www.passiv.de

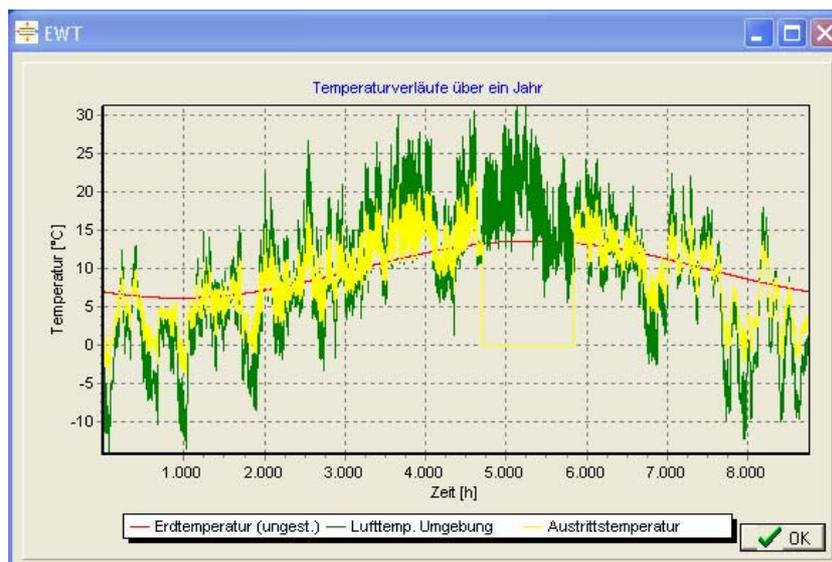


Abbildung 9.19: Austrittstemperaturverlauf des Luft-EWT laut Berechnung mit PHLuft vom Passivhausinstitut, www.passiv.de

e) Neben höheren Energieerträgen erfordern größere Verlegetiefen kürzere Rohrlängen und damit geringere Investitionskosten für Rohrmaterial und Verlegung. Gleichzeitig erhöht sich mit zunehmender Verlegetiefe aber der Mehraufwand bei den Aushubarbeiten. Für die Praxis ergeben sich wirtschaftliche Verlegetiefen für EWT von 1,5 bis 2,5 Metern (Blümel, E et al, 2001).

f, g, h) Im Sommerbetrieb kann im Erdkollektor Kondenswasser entstehen. Um ein Abfließen des Kondensates zu ermöglichen bzw. aus Reinigungsgründen sollten nur glatte, starre Rohre verwendet werden. Dies bringt zudem den Vorteil eines geringen Druckverlustes im Erdwärmetauscher. Das Gefälle sollte mind. 2 % betragen und in einen geruchsneutralen Kondensatablauf münden. 30 Meter mit 2 % Gefälle bedeuten 0,6 m Höhendifferenz. Ein Abfließen des Kondensates in Strömungsrichtung wird als vorteilhaft betrachtet. Meist ergibt dies auch die kostengünstigere Möglichkeit, den Kondensatablauf des EWT mit dem Kondensatablauf des Gerätes im Keller zu kombinieren. Beim Kondensatablauf ist auch darauf zu achten, dass ein entsprechender Widerstand gegen Leckströme vorhanden ist (Doppelter Syphon). Ein Gefälle zur Ansaugung mit Versickerungsmöglichkeit im Boden ist aus hygienischen Gründen (Ansaugung von Bodenluft) zu vermeiden.

k) Durch eine Dichtheitsprobe (z.B. mit Wasser) ist sicherzustellen, dass der Erdwärmetauscher dicht ist, damit kein Wasser in das Rohrsystem eindringen kann.

l, m, n) Um den Wärmeübergang zu verbessern, sollte eine Hinterfüllung mit gut leitendem, feinem Material (z.B. Sand, Erdreich, ...) erfolgen. Die Verdichtung verbessert zudem den Wärmeübergang. Der Abstand zwischen den einzelnen Rohren sollte mindestens 0,75 Meter betragen bzw. 3x Rohrdurchmesser, um eine Regeneration des Erdreiches zu ermöglichen. Dies gilt ebenfalls für den Abstand zu Kellerwand, Fundamenten bzw. zu Abflusskanälen und Wasserleitungen, damit es zu keiner Schädigung (z.B. Einfrieren der Wasserleitung) kommt. Luft-EWT Register unter ver-

siegelten Flächen haben eine schlechtere Regeneration und die Rohrabstände sollten daher doppelt so groß gewählt werden.

o) Um die Radonbelastung auszuschließen, sollte in mit Radon belasteten Gebieten ein Sole-Erdwärmetauscher verwendet werden.

Qualitätskriterium 22-2 Sole (E)	Anforderung	
<p>Wirksamer, hygienisch unbedenklicher Sole-Erdwärmetauscher (S-EWT) als Vereisungsschutz</p> <p>Anmerkung 1: Sicherheitskonzept muss auch bei einem Ausfall der Solepumpe eine schädigende Vereisung des Gerätes verhindern und eine Störmeldung liefern.</p> <p>Anmerkung 2: Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in Form von Flachkollektoren sind nur in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten (Quellschutzgebiete oder Wasserschongebiete) und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung bewilligungspflichtig</p>	<p>a) Die niedrigste Temperatur der Außenluft beim Betriebsluftvolumenstrom nach dem L-EWT soll zumindest 2° über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze liegen (derzeit ist kein kostenloses Berechnungsprogramm verfügbar).</p> <p>Mindestanforderung: Länge: > 0,5 lfm pro m³/h Außenluft Sole-Massenfluss: >1Liter/h pro m³/h Außenluft Zielwert: über -2°C</p>	
	<p>b) Sole-Luft-Wärmetauscher mit max. 20 [Pa] (Zielwert max. 5 [Pa]) luftseitigem Druckverlust beim Betriebsvolumenstrom</p>	<p>Max. Druckverlust im Solekreislauf 40 [kPa] (Zielwert max. 10 [kPa]). WT-Anschluss im Gegenstromprinzip</p>
	<p>c) PE Rohr (z.B. DN 20 bzw. 25); PE-Qualität abhängig von Bodenverhältnissen LD-PE (PE 80) bis HD-PE (PE 100) bzw. PEX. Möglichst keine Kupplungen im Erdreich</p>	
	<p>d) Soleleitung im Schnitt mindestens 1,5 m unter Erdreich. Bei Verlegung unter dem Gebäude bzw. versiegelten Flächen (nicht empfohlen) muss eine Regeneration durch Sommerbetrieb gewährleistet sein.</p>	
	<p>e) Hinterfüllung und Verdichtung mit feinkörnigem Material (z.B. Sand, Erdreich)</p>	
	<p>f) 0,75 m Abstand zu Wasserleitungen, Abwasserkanälen, Kellerwänden, Fundamenten, etc.</p>	
	<p>g) Abstand zwischen Soleleitungen mind. 0,75 m.</p>	
	<p>h) Anschluss paralleler Leitungen im Tichelmannprinzip</p>	
	<p>i) Solekreislauf gefüllt mit unbedenklichem Frostschutz auf 5°C unter der Normaußentemperatur</p>	
	<p>j) Wasserdichte Rohrdurchführung der Soleleitung in das Haus</p>	
	<p>k) Dämmung mit feuchtegeeigneter, geschlossenzelliger Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...)</p> <p>1/2 Rohrdurchmesser im unbeheizten Bereich 1/1 Rohrdurchmesser im beheizten Bereich</p>	

Qualitätskriterium 22-2 Sole (E)	Anforderung (Fortsetzung)	
Wirksamer, hygienisch unbedenklicher Sole-Erdwärmetauscher (S-EWT) als Vereisungsschutz	l) Ausreichend großer Druckausgleichsbehälter; z.B. nach Excel Auslegungsprogramm www.sole-ewt.de	
	m) Geeignete Tropfzasse mit Kondensatabfluss beim Wärmetauscher ohne Leckströmung und mit Geruchverschluss gegen den Kanal	Max. Druckverlust im Solekreislauf 40 [kPa] (Zielwert max. 10 [kPa]). WT-Anschluss im Gegenstromprinzip
	n) Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)	
	o) Energieoptimierte Regelung des Sole EWT. (Kein Betrieb bei Temperaturen der Außenluft zwischen +5°C und +20°C)	
	p) Sicherheitskonzept bei Ausfall des Sole-EWT	

Sole-Erdreichwärmetauscher stellen insbesondere für größere Anlagen eine interessante Alternative zu luftdurchströmtem Erdwärmetauscher dar. Die wesentlichen Vorteile sind: Umgehung eventueller Hygieneproblematik, einfachere Wartung bzw. Reinigung, leichtere Verlegung (kein Gefälle). Außerdem ist die Wärmeleistung nicht von der Luftmenge abhängig und lässt sich einfach regeln (vgl. Michael et al, 2000). Nachteilig wirken sich die zusätzlich benötigten Anlagenteile (Pumpe, Sicherheitseinrichtungen, Regelung) aus. Die Rohrlänge und der Mindestvolumenstrom sind Mindestwerte, die sich aus Erfahrungen und Projektberichten ableiten (siehe Projektberichte www.sole-ewt.de). Ein entsprechendes Berechnungsprogramm ist bisher nicht bekannt. Als Rohrmaterial können handelsübliche PE Schläuche verwendet werden. Bei einer Verlegung des S-EWT ausschließlich im Sandbett genügt ein LDPE (LD = Low Density bzw PE 80). Kann der S-EWT nicht sorgfältig im Sandbett verlegt werden, sollte ein HDPE (HD = High Density bzw. PE 100) Schlauch oder ein PEX (polymer vernetztes PE) verwendet werden. Um die Energieeffizienz zu optimieren sollten nur energiesparende Pumpen der Effizienzklasse A verwendet, und auf eine optimierte Regelung, acht gegeben werden (z.B. nur Betrieb außerhalb des Außenluftbereiches von +5 bis +20°C). Auf der mit Frostschutz gefüllten Solesseite muss eine Sicherheitsgruppe (Sicherheitsventil, Absperrungen, Befüll- und Entleerung, Manometer) mit ausreichendem Ausdehnungsgefäß errichtet werden. Die weiteren Voraussetzungen sind ähnlich den Luft durchströmten Erdwärmetauschern.

9.4.4 Lüftungsgerät / Wärmetauscher

Voraussetzung (V4)	Anforderung	
Geprüftes Lüftungsgerät	<p>Dezentral: Gerät muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ÖNORM EN 13141-7* <u>oder</u> • Passivhausinstitut (PHI) <u>oder</u> • DIBt (z. B. TZWL) Prüfreglement <p>verfügen.</p>	<p>Zentral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geräte entsprechen den RLT-Richtlinien Nr. 1 und 3 bei Entrauchungsfunktion auch der RLT-Richtlinie 4. <p>Alle Einbauteile müssen über ein entsprechendes, anerkanntes Prüfzertifikat verfügen.</p> <p>Insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gerät muss ein anerkanntes Prüfzertifikat über die Geschwindigkeitsklasse haben. • Wärmerückgewinnungseinheit muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach ÖNORM EN 308 verfügen. • Ventilator muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach ÖNORM EN 13053 verfügen.

Dezentral: Um verbindliche, unabhängige Aussagen für die Beurteilung und Auswahl des Lüftungsgerätes heranziehen zu können (Wärmerückgewinnungsgrad, Wärmebereitstellungsgrad, elektrisches Wirkungsverhältnis, Leckraten, etc.), sollten nur Geräte mit einem unabhängigen Prüfzertifikat eingebaut werden.

Derzeit gibt es leider noch keine einheitliche europäische Prüfung. Es existiert mit der EN 13141-7 zwar die Prüfvorschrift für Wohnraumlüftungsgeräte, die auch in Klassenzimmern eingesetzt werden können, aber es kann derzeit noch kein Institut nach diesen Reglement Prüfungen durchführen (Stand Ende 2007). Deswegen sind auch noch die unterschiedlichen Prüfverfahren des Passivhaus-Institutes (PHI) bzw. nach dem DIBt bzw. TZWL-Prüfreglement mit unterschiedlichen Werten angeführt.

Zentral: Da große Lüftungsgeräte individuell zusammengestellt werden, besteht normalerweise kein Prüfzertifikat für das gesamte Gerät. Es muss daher jeder einzelne Bauteil (Ventilatoreinheit, Filter, Wärmerückgewinnungseinheit, Vorwärmung, ...) einzeln betrachtet werden. Die Qualitätsrichtlinien 1 bis 4 des RLT-Herstellersverbandes www.rlt-geraete.de sind zwar keine unabhängigen, aber dennoch sehr gute Qualitätsrichtlinien. Sie enthalten alle Anforderungen von folgenden Normen und Richtlinien:

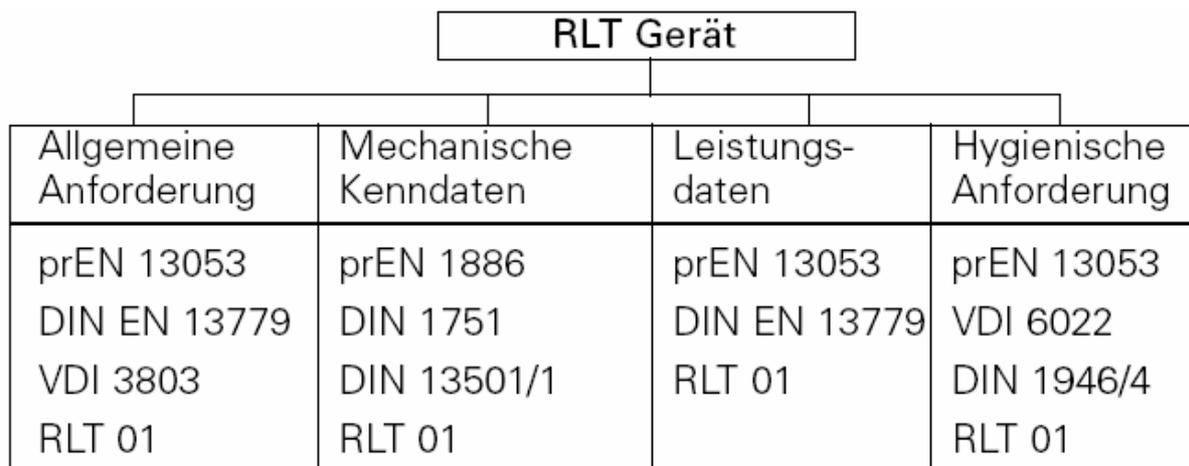


Abbildung 9.20: Darstellung der für die RLT-Richtlinie 1 berücksichtigten Normen und Richtlinien. (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007) Hinweis: EN 13053 ist mittlerweile in der Endfassung erschienen

Qualitätskriterium 23 (M)	Anforderung
Ausreichende Sicherheitseinrichtungen	a) Gerät muss der RLT-Richtlinie Nr. 3 „EG-Konformitätsbewertung“ entsprechen
	b) Lüftungsgerät schaltet bei zu hohen Druckverlusten auf Störung
	c) Gegenseitige Verriegelung der Ventilatoren (kein reiner Zu- oder Abluftbetrieb möglich)

Die RLT-Richtlinie Nr. 3 „EG-Konformitätsbewertung von raumlufttechnischen Anlagen“ berücksichtigt die Maschinenrichtlinie 98/37/EG, die Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG, EMV-Richtlinie 89/336/EWG, 92/31/EWG und 2004/108/EWG, Druckgeräterichtlinie 97/23/EG, Explosionsschutzrichtlinie 94/9/EG, Gasgeräterichtlinie 90/396/EG, Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG und 96/68/EWG (Entrauchung).

Die Anlage muss nach ÖNORM EN 13779:2008 insbesondere mit entsprechenden Schutz- und Sicherheitseinrichtungen für Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten sowie für Notabschaltungen ausgerüstet sein. Zusätzlich sollte ein Lüftungsgerät bei zu hohem Druckverlust in den Luftleitungen oder bei Ausfall eines Ventilators die Anlage abschalten. Zu hohe Druckverluste weisen auf einen Fehler oder auf starke Verschmutzung hin. Um die Motoren zu schützen und um einen möglichen Fehler schnell zu bemerken, soll die Anlage auf Störung schalten.

Qualitätskriterium 24 (M)	Anforderung	
<p>Leises Lüftungsgerät beim Betriebsluftvolumenstrom und 100 [Pa] Druckdifferenz</p> <p>Damit kann in einer typischen Klasse ein Schalldruckpegel von unter 30 [dB(A)] eingehalten werden (Achtung nur für Gehäuseabstrahlung). Für die Erreichung des geforderten Gesamtschallpegels (inkl. Zu- und Abluftdurchlass) nach Kriterium 4 ist normalerweise ein entsprechender schallgedämmer Einbau vorzusehen.</p>	<p>Dezentral: A-bewerteter Schalleistungspegel (L_{wA}) des Gerätes gegenüber der Umgebung von max. 38 [dB(A)] bei Aufstellung im Klassenzimmer</p>	<p>Zentral: Keine Anforderung – Eventuelle Auswirkungen auf angrenzende Räume beachten</p>

Der Schalleistungspegel eines Lüftungsgerätes beschreibt die vom Lüftungsgerät abgestrahlte akustische Leistung an den Raum bzw. in eine Luftleitung. Die Leistung an den Raum bewirkt in einem Abstand einen gewissen Schalldruckpegel. Befindet sich das Lüftungsgerät frei im Klassenzimmer, wird der Schalldruckpegel im Wesentlichen nur von Dämpfung des Raumes abgemindert. Die Dämpfung des Raumes ist von der äquivalenten Absorptionsfläche des Raumes abhängig. Die geforderten 38 dB(A) ergeben in einem typischen Klassenraum einen Schalldruckpegel von max. 30 dB(A) aus der Geräteabstrahlung.

Wesentlich ist aber die Erreichung des Gesamtschallzieles aus Qualitätskriterium 4, wobei zu beachten ist, dass hier noch die Schallbelastung aus dem Zuluft- und Abluftbereich logarithmisch zu addieren ist. Es ist daher im Normalfall ein schallgedämmer Einbau des Gerätes notwendig.

Anhand der Nachhallzeiten und den Raumvolumen kann aus der Sabin'schen Nachhallgleichung die äquivalente Absorptionsfläche errechnet werden.

$$T = 0,16 * \frac{V}{A_{\ddot{a}q}} \quad \text{Sabin'sche Nachhallgleichung}$$

T Nachhallzeit [s]

V Raumvolumen [m³]

A_{äq} äquivalente Absorptionsfläche [m²]

Mit der folgenden Gleichung EN ISO 3743-2:1997 kann der zu erwartende A-bewertete Schalldruckpegel eines dezentralen Lüftungsgerätes mit einem bekannten Schalleistungspegel in einem Raum abgeschätzt werden.

$$L_{p,A} = L_{w,A} - 10 \log\left(\frac{A_{\ddot{a}q}}{4}\right) \quad \text{Umrechnung Leistungspegel – Schalldruckpegel}$$

L_{p,A} Schalldruckpegel im Raum [dB(A)]

L_{w,A} Schalleistungspegel des Lüftungsgeräts [dB(A)]

A_{äq} äquivalente Absorptionsfläche [m²]

Das beschriebene Verfahren zur Berechnung des zu erwartenden Schalldruckpegels ist nur bei ausreichendem Abstand richtig. Der ausreichende Abstand ist in erster Linie von der Raumdämpfung abhängig und lässt sich laut folgender Gleichung EN ISO 3743-2:1997 berechnen:

$$r = 0,2 * \sqrt{A_{\ddot{u}g}} \quad \text{Abstandsbestimmung}$$

Bei einer durchschnittlichen Klasse mit einem Raumvolumen von 100 m³ und einer Nachhallzeit von 0,5 s lt. ÖNORM B 8115-3:2005 ergibt sich nach dem oben beschriebenen Verfahren ein Schalldruckpegel von 29 dB(A), bei einer abgestrahlten Schalleistung von 38 dB(A). Der minimale Abstand vom Gerät beträgt bei der für eine Nachhallzeit von 0,5 s notwendigen Absorptionsfläche von 32 m² ca. 1,15 m.

Qualitätskriterium 25 (M)	Anforderung
Gute Reinigbarkeit des Lüftungsgerätes	Gute Reinigbarkeit des Gerätes bzw. des Wärmetauschers, der Kondensatwanne und Kondensatablaufes durch die Hausbetreuung

Zur Revision und Reinigung müssen alle Geräteteile leicht zugänglich sein. Hierzu sind Türen oder Revisionsdeckel mit geeigneten Verschlüssen in ausreichender Anzahl vorzusehen (VDI 3803:2002).

Qualitätskriterium 26 (M)	Anforderung	
Geringe Luft-Leckagen des Gerätes	Dezentral: Interne bzw. externe Leckagen max. 3 % bei 100 Pa Druckdifferenz nach ÖNORM EN 13141-7 Zielwert: 1 %	Zentral: Luftdichtigkeitsklasse L2 beim Prüfdruck für Unter- und Überdruck nach prEN 1886. Zielwert: Klasse L1

Als Leckagevolumenstrom sind die (externen und internen) Undichtheiten definiert, die beispielsweise Raumluft in den Außenluft- bzw. den Zuluftvolumenstrom eindringen lassen.

Eine möglichst vollständige Trennung von Zu- und Abluftstrom bzw. eine möglichst geringe Infiltration von Umgebungsluft in das Gerät (Unterdruck im Außenluft bzw. Abluftbereich) ist notwendig, um nur frische unbelastete Außenluft in den Raum zu führen bzw. eine hohe Anlageneffizienz zu erreichen. Auch ein Austreten der Luft aus dem Gerät (Überdruck im Zuluft- bzw. Fortluftbereich) muss verhindert werden, um die Gesamteffizienz der Lüftungsanlage zu gewährleisten. Gehäuse Leckage bei Unterdruck nach prEN 1886:2003.

Tabelle 9.5: Dichtheitsklasse nach prEN 1886:2003 (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Dichtheitsklasse	Max. Leckluftrate bei - 400 Pa Prüfdruck [l/(sm ²)]	Filterklasse nach EN 779
L1	0,15	besser als F9
L2	0,44	F8–F9
L3	1,32	G1–F7

Tabelle 9.6: Gehäuse Leakage bei Überdruck nach prEN 1886:2003 (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Dichtheitsklasse	Max. Leckluftrate bei + 700 Pa Prüfdruck [l/(sm ²)]
L1	0,22
L2	0,63
L3	1,90

Interne Leckagen bzw. Leckströme durch den Wärmetauscher führen zu einer scheinbaren Verbesserung der energetischen Qualität, da z.B. warme Abluft in die kühlere Zuluft eindringt (versteckter Umluftbetrieb). Diese internen Leckagen sind aus hygienischen Gründen und auch aus der Lüftungseffizienz unerwünscht, insbesondere wenn im Sinne einer Kaskadennutzung die Toilettenräume in die zentrale Lüftungsanlage eingebunden sind.

Dezentral: Interne und externe Leckagen werden nach ÖNORM EN 13141-7:2006 zwar getrennt ermittelt und ausgewiesen, die Grenzwerte sind aber gleich hoch. Relevant ist immer der höhere der beiden Werte und damit wird klassifiziert.

Qualitätskriterium 27 (M)	Anforderung	
<p>Effiziente Wärmerückgewinnung</p> <p>*Temperaturdifferenz zwischen einströmender und ausströmender Luft eines Luftstromes geteilt durch die Temperaturdifferenz zwischen der einströmenden Luft der beiden Luftströme</p> <p>**Derzeit gibt es für dezentrale Geräte leider noch keine einheitliche europäische Prüfung. Deswegen sind alternativ die unterschiedlichen Prüfverfahren des Passivhaus-Institutes (PHI) bzw. nach dem DIBt-Prüfreglement mit unterschiedlichen Werten angeführt.</p> <p>***Nur wenn damit auch die Gesamteffizienz (inkl. Strombedarf) erhöht wird.</p>	<p>a) Dezentral: Temperaturverhältnis* nach ÖNORM EN 13141-7 bezogen auf die Abluftseite zumindest 60 %**</p> <p>Zielwert: >70 %***</p>	<p>a) Zentral: Rückwärmezahl nach EN 308 zumindest 60 [%]</p> <p>Zielwert: >70 %****</p>
	<p>b) Alternativ für dezentrale Anlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wärmerückgewinnungsgrad nach PHI-Prüfreglement zumindest 65 %. Zielwert >75 % <u>oder</u> • Wärmebereitstellungsgrad nach DIBt-Prüfreglement mindestens 77 % nach TZWL-Liste. Zielwert >87 % 	<p>Zentral: Keine Alternativen</p>

Eine hohe Wärmerückgewinnung erhöht nicht immer die Gesamtenergieeffizienz. Es ist zu beachten, dass Geräte mit höherer Wärmerückgewinnung auch höhere Druckverluste und höhere Vereisungstemperaturen aufweisen. Dies ist bei der Berechnung der Gesamtenergiebilanz bzw. bei der Dimensionierung des Erdwärmetauschers oder der Vorwärmung zu berücksichtigen.

In den Sommermonaten bzw. aufgrund der inneren Wärmen in einer Schulklasse ist teilweise schon in der Übergangszeit zu bestimmten Zeiten keine Wärmerückgewinnung gewünscht. Daher sind die Zielwerte bei der Wärmerückgewinnung immer nur unter dem Aspekt der Erzielung einer höheren Gesamteffizienz zu sehen.

Qualitätskriterium 28 (M)	Anforderung	
<p>Geringe Stromaufnahme des Ventilators, bzw. der gesamten Anlage beim Betriebsluftvolumenstrom und reinen Filtern</p>	<p>Spezifische Leistungsaufnahme des einzelnen Ventilators entsprechend der Kategorie SFP 1 nach ÖNORM EN 13779. Dies entspricht max. 0,22 [W/(m³/h)] bei einer geforderten Wärmerückgewinnung der Klasse H1 bzw. H2; bzw. 0,25 [W/(m³/h)] inkl. mechanischem Filter. (Zur Info: 0,14 [W/(m³/h)] bei Wärmerückgewinnungsklasse über H2, ohne mechanischem Filter)</p>	<p>Spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,45 [W/(m³/h)]; inkl. mechanischer Filter 0,50 [W/(m³/h)]</p> <p>Zielwert: max. 0,30 [W/(m³/h)] inkl. mech. Filter</p>

Für eine ganzheitliche Beurteilung von Lüftungsanlagen ist auch der gesamte Bedarf an elektrischem Strom bedeutend. Eine hohe Stromeffizienz wird mit direktbetriebenen Ventilatoren mit Gleichstrommotoren bzw. EC-Motoren und niedrigen Gesamtdrücken erreicht. Beim Wärmebereitstellungsgrad von dezentralen Lüftungsgeräten ist die von den Ventilatoren abgegebene Wärme mitberücksichtigt und wird als Wärmegewinn bilanziert, daher würden – ohne Beachtung des elektrischen Strombedarfes – Anlagen mit hocheffizienten Ventilatoren im Vergleich mit konventionellen Ventilatorantrieben sogar schlechter abschneiden. Generell ergibt sich aus den physikalischen Gegebenheiten ein direkter Zusammenhang der spezifischen Ventilatorleistung (je Ventilator) von der gesamten Druckerhöhung. D.h. bei einem fixen Gesamtwirkungsgrad von Motor und Ventilator ist die Stromeffizienz nur mehr von der Druckerhöhung im Gesamtsystem (intern und extern) abhängig.

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{tot}}$$

Spezifische Ventilatorleistung

- P_{SFP} spezifische Ventilatorleistung [$W \cdot m^{-3} \cdot s$]
- P elektrische Wirkleistung des Ventilatormotors [W]
- q_v Nennvolumenstrom durch den Ventilator [$m^{-3} \cdot s^{-1}$]
- Δp Gesamtdruckerhöhung des Ventilators [Pa]
- η_{tot} Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor, Antrieb, ... [-]

Die folgende Tabelle zeigt die Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779:2008 und die maximale Gesamtdruckerhöhung bei einem Gesamtwirkungsgrad des Ventilators von 0,60 (Achtung: Einordnung gilt jeweils für einen Ventilator).

Tabelle 9.7: Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779:2008

SFP-Kategorie	P_{SFP} in [$W \cdot m^{-3} \cdot s$]	P_{SFP} in [$W \cdot m^{-3} \cdot h$]	Max. ges. Druckerhöhung bei $\eta_{tot} = 60\%$ [Pa]
SFP 1 ^(*)	<500	<0,14	300
SFP 2 ^(*)	500–750	0,14–0,21	450
SFP 3 ^(*)	750–1250	0,21–0,35	750
SFP 4 ^(*)	1250–2000	0,35–0,56	1200
SFP 5 ^(*)	2000–3000	0,56–0,83	1800
SFP 6 ^(*)	3000–4500	0,83–1,25	2700
SFP 7 ^(*)	>4500	>1,25	>2700

^(*) SFP.....spezifische Leistung

Zusätzliche Einbauten führen nach der EN 13779:2008 zu höheren zulässigen spezifischen Werten: z.B. zusätzliche mechanische Filterstufen (+ 300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$) oder hocheffiziente Wärmerückgewinnungen der Wärmerückführungs-kategorie H2 oder H1 (+ 300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$) zusätzlicher sehr großer Kühler (+300 $W \cdot m^{-3} \cdot s$). Bei den anzustrebenden Wärmerückgewinnungskategorie H2 bzw. H1 ergibt sich damit für SPF 1 ein Wert von 800 $W \cdot m^{-3} \cdot s$ bzw. 0,22 $W \cdot m^{-3} \cdot h$ zum tragen. Dies entspricht einer Gesamt-

druckerhöhung von max. 460 Pa bei 60 % Gesamtwirkungsgrad des Antriebes. Inklusive mechanischem Filter ergeben sich lt. EN 13799:2008 maximal $1.100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$ bzw. $0,30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ oder 660 Pa. In Qualitätskriterien sind maximal 80 Pa Druckverlust für die reinen Filter vorgesehen (40 Pa vor dem EWT und 40 Pa für den Hauptfilter im Zuluftstrang). D.h. es ergibt sich ein maximaler Druckerhöhung von 540 Pa bzw. ein SFP-Wert von $900 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$ bzw. $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ für den Zuluftstrang. Für den Abluftstrang ergibt sich für einen Filter mit max. 40Pa eine Gesamtdruckerhöhung von 500 Pa und somit ein SFP-Wert von $833 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$ bzw. $0,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$. In der Praxis ist daher eine höhere Filterqualität oder eine höhere Wärmerückgewinnungsklasse mit dem höheren Strombedarf abzuwägen. Auch in der OIB Richtlinie 6 wird beim erstmaligen Einbau, bei Erneuerung oder überwiegender Instandsetzung von Lüftungsanlagen eine spezifische Leistungsaufnahme (SFP) von Ventilatoren in Lüftungsanlagen der Klasse I gemäß ÖNORM EN 13779:2008 gefordert.

Qualitätskriterium 29 (M)	Anforderung	
Gute Wärmedämmung des Gerätegehäuses	Dezentral: Leitwert des gesamten Gehäuses maximal 8 W/K nach ÖNORM EN 13141-7 Zielwert: 5 [W/K]	Zentral: U-Wert des Gehäuses maximal $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (bzw. 3,5 cm Dämmung mit $\lambda 0,04 \text{ W/mK}$) Klasse T2 und Wärmebrückenfaktor TB2 nach prEN 1886 Zielwert: max. $0,5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$; Klasse T1 bzw. TB1 nach prEN 1886.

Um die Einwirkungen der Umgebungstemperaturen auf die Effizienz der Lüftungsgeräte zu verringern, soll das Gehäuse wärmetechnisch gedämmt werden.

Der Wandaufbau sollte doppelschalig mit dazwischen liegender Isolierung ausgeführt sein (VDI 3803:2002). Für dezentrale Geräte ist eine Prüfung des gesamten Leitwertes inkl. Wärmebrückeneinflüssen nach EN 13141-7:2006 ausschlaggebend. Sehr gute Geräte erreichen lt. Prüfungen des Passivhausinstitutes Werte um die 5 W/K.

Für zentrale Geräte fordert die VDI 3803:2002 eine Mindestwärmedämmung der Klasse T4 nach prEN 1886:2003. Die 5 Klassen für die Wärmedämmung von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003 sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 9.8: Klassifikation der Wärmedurchgangszahl des Gehäuses von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003

Klasse	Wärmedurchgangszahl [W/m²K]
T1	<0,5
T2	0,5–1
T3	1–1,4
T4	1,4–2
T5	Keine Anforderung

Bei zentralen Geräten sind die Wärmebrücken des Gehäuses getrennt zu betrachten, da nicht der Leitwert des gesamten Gehäuses gemessen wird, sondern nur die Wärmedämmung in den Regelflächen. Die prEN 1886:2003 sieht auch hier 5 Klassen vor, wobei die Klasse 1 die strengste Anforderung darstellt.

Tabelle 9.9: Klassifikation des Wärmebrückenfaktors des Gehäuses von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003

Gehäuseklasse	Wärmebrückenfaktor k_b [-]
TB1	0,75–1,00
TB2	0,60–0,75
TB3	0,45–0,60
TB4	0,30–0,45
TB5	Keine Anforderung

Qualitätskriterium 30 (M)	Anforderung	
Automatische Konstantvolumenstrom- oder Konstantdruckregelung des Lüftungsgerätes	a) Dezentral: Automatische Konstantvolumenstromregelung Abweichung maximal 10 % vom geplanten Volumenstrom. Zielwert: 5 %	a) Zentral: Automatische Konstantdruckregelung Abweichung maximal 10% vom geplanten Druckniveau. Zielwert: 5 %

Die Forderung der Konstantvolumen- bzw. Konstantdruckströme der Geräte ergibt sich, um unabhängig vom Verschmutzungsgrad der Filter die angestrebte Zu- bzw. Abluftmenge zu erhalten.

Die dauerhafte Einhaltung des geplanten Luftvolumenstromes ist ein weiteres Qualitätsmerkmal und wird am einfachsten über eine Konstantvolumenstrom- bzw. Konstantdruckregelung des Lüftungsgerätes erreicht. Hier gleicht das Gerät unterschiedliche bzw. sich verändernde Druckverluste (z.B. durch sich verschmutzende Filter) aus und sorgt dafür, dass immer der gewünschte Volumenstrom bzw. das gewünschte Druckniveau geliefert wird. Eine händische Einmessung für Zu- und Abluft ist zwar grundsätzlich möglich, nur müsste dann aufgrund der unterschiedlichen Betriebszustände (Druckverluste) eine schwankende Luftmenge und teilweise unausgeglichene Volumenströme (z.B. durch unterschiedliche Verschmutzungen der Filter) akzeptiert werden.

Wobei bei dezentralen Anlagen eine Konstantvolumen- und bei zentralen Anlagen normalerweise eine Konstantdruckregelung zum tragen kommt.

Eine Konstantdruckregelung hat dieselbe Aufgabe wie die druckabhängige Drehzahlregelung einer (Effizienz)-Pumpe in einem Heizkreis mit Thermostatventilen. Ändert sich der Bedarf, wenn ein Volumenstromregler sich ändert, dann regelt die Druckregelung wieder auf den Druck-Sollwert ein. Diese Regelung bietet statt der früher üblichen Drosselung eine deutlich höhere Effizienz des Ventilatorstroms.

Qualitätskriterium 31 (M)	Anforderung	
Ausreichende Filterqualität mit geringem Druckverlust für die Außenluft; einfacher Filtertausch	a) Zumindest F7 nach EN 779 bei ODA1 bzw. F6 + F7 bei ODA2 Bei nur einer Filterstufe sollte der Filter nach dem Ventilator angebracht sein. Zielwert: F6 + F8 bei ODA 1 und 2	
	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter
	c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)	
	d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich	
	e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung einfach durchgeführt werden können. Max. 2.000 Betriebsstunden für die 1. Filterstufe bzw. max. 1 Jahr; 2. Filterstufe max. 4.000 Betriebsstunden bzw. max. 2 Jahre lt. EN 13779.	
	f) Schutz vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90 % relative Feuchte, bzw. mittlere relative Feuchte unter 80 % an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht einer Temperaturerhöhung von ca. 2°C bis zum Filter.	
	g) Maximaler Druckverlust 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 [Pa] Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	g) Maximaler Druckverlust 40 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 120 [Pa] Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]

Die Außenluft sollte so gefiltert werden, dass sie der Raumluftanforderung entspricht. Die Filterqualität sollte der Anwendung entsprechend angepasst sein. Zu hohe Anforderungen an die Filterqualität erhöhen den Druckverlust und wirken sich negativ auf die Effizienz der Anlage aus. Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt daher die Filterklassen in Abhängigkeit der Außenluft und der gewünschten Raumluftqualität an, wie aus der unten stehenden Tabelle ersichtlich ist. Die Filterklassen sind nach ÖNORM EN 779:2003 definiert.

Tabelle 9.10: Empfohlene Filterklassen je Filterstufe nach ÖNORM EN 13779:2008

Außenluftqualität	Raumluftqualität			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F6 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	F5 + F7	F5 + F6

GF bedeutet Gasfilter (Aktivkohlefilter) und/oder chemischer Filter

Tabelle 9.11: Klassifizierung der Außenluft nach ÖNORM EN 13779:2008

Außenluftkategorie	Beschreibung
ODA 1	Saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (z.B. Pollen)
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmiger Verunreinigungen
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration von gasförmigen Verunreinigungen

Für Städte wie London, Madrid und Stuttgart trifft lt. ÖNORM EN 13779:2008 die ODA Klasse 2 zu. D.h. in städtischen Bereichen ist auch bei uns auch von ODA 2 und in unbelasteten ländlichen Bereichen von ODA 1 auszugehen. Für die konkrete Bestimmung müssen die Richtwerte für einzelne Schadstoffe der ÖNORM EN 13779:2008 mit den tatsächlichen Schadstoffbelastungen des Standortes verglichen werden.

Die Filterqualität in der Zuluft soll mindestens F7 betragen, was auch der Anforderung der ÖNORM EN 13779:2008 bei IDA 3 entspricht. Durch die Filter erreicht man insbesondere im städtischen Bereich eine deutliche Verminderung des Staub- und Polleneintrages von außen. Um die Druckverluste zu minimieren bzw. längere Standzeiten zu erhalten, sollten Filter eine möglichst große Oberfläche besitzen (z.B. Taschenfilter). Die Luftfilterung ab ODA 2 sollte zweistufig erfolgen, wobei der Vorfilter mindestens F5 und der zweite Filter mindestens F7 gemäß ÖNORM EN 13779:2008 sein sollte. Eine zweistufige Filterung bewirkt längere Standzeiten des zweiten Filters und einen geringeren Druckverlust, allerdings werden die Installationskosten höher. Der Filterwechsel soll durch die Hausbetreuung vorgenommen werden können.

Im Vorschlag der ÖNORM H 6039:Stand 9.1.2008 ist eine Filterqualität von F6 als Mindestforderung enthalten.

Die ÖNORM H 6021:2003 fordert über die Anforderung der ÖNORM EN 13779:2008 hinaus in Zuluftanlagen, für Räume in denen sich Menschen über einen längeren Zeitraum aufhalten, mindestens 2 Filterstufen, wobei die 1. Stufe vor dem ersten vor Staub zu schützenden Bauteil und die 2. Stufe nach dem letzten Bauteil eines lufttechnischen Zentralgerätes vorzusehen ist.

Zum Schutz vor Durchfeuchtung sollte beim Filter die Luft schon um ca. 1–2°C über der Außentemperatur im Winter liegen. Dies kann entweder durch Anbringung der Filter im Gebäude, bzw. nach einer kurzen Erdvorwärmung oder im Ausnahmefall durch eine geregelte (elektrische) Beheizung bewerkstelligt werden.

Qualitätskriterium 32 (M)	Anforderung	
Ausreichende Filterqualität im Abluftstrang mit geringem Druckverlust. Einfacher Filtertausch	a) Dezentral: Abluft zumindest F5 nach EN 779. Bei regenerativen Wärmetauschern (z.B. Rotationswärmetauscher) gleich wie für die Außenluft	Zentral: Abluft zumindest F5 nach EN 779. Bei regenerativen Wärmetauschern (z.B. Rotationswärmetauscher) gleich wie für die Außenluft
	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter
	c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)	
	d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich	
	e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung durchgeführt werden können	
	f) Dezentral: maximaler Druckverlust 20 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 60 [Pa]. Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	f) Zentral: maximaler Druckverlust 40 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 120 [Pa]. Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]

Die Filterqualität im Abluftstrang sollte lt. ÖNORM EN 13779:2008 zumindest F5 betragen. Dieser Filter hat keine hygienischen Aufgaben, sondern soll lediglich den Wärmetauscher vor Verschmutzung schützen. Bei Anlagen mit regenerativer Wärmerückgewinnung z.B. Rotationswärmetauscher ist lt. ÖNORM EN 13779:2008 für die Abluft dieselbe Filterklasse wie bei der Außenluft/Zuluft vorzusehen.

Qualitätskriterium 33 (M)	Anforderung	
Geeigneter Aufstellungsort	Dezentral: bei beengten Raumverhältnissen ist eine Deckenausführung ohne gesonderten Platzbedarf anzustreben.	Zentral: Frostfreier, trockener Raum oder Gerät für Freiaufstellung mit leichtem Zugang für Filterwechsel

Beim Aufstellungsort selbst sind folgende Punkte zu beachten:

- trockener, frostfreier Raum oder Gerät für Außenaufstellung
- leicht zugänglich für Wartungsarbeiten
- einfache Anschlussmöglichkeit für den notwendigen Kondensatablauf
- vorhandene Stromversorgung

Ein Keller oder eine Aufstellung innerhalb der thermischen Gebäudehülle bieten sich dafür an. Freiaufstellungen sind aus energetischen Gründen möglichst zu vermeiden. Die Größe des Aufstellungsortes bei zentralen Geräten ist so zu wählen, dass eine gute Zugänglichkeit zu allen relevanten Bauelementen gegeben ist. Empfehlungen dazu gibt es in der ÖNORM EN 13779:2008. Die Lage des Aufstellungsortes soll kurze Entfernungen zu den zu lüftenden Räumen gewährleisten. Bei im Außenbereich aufgestellten Anlagen sind dafür vorgesehene Geräte mit höherer Dämmstärke zum Ausgleich der schlechteren Rahmenbedingungen einzusetzen. Freiaufstellungen sind aus energetischen Gründen jedoch möglichst zu vermeiden.

Bei dezentralen Anlagen innerhalb des Klassenzimmers ist aus Platzgründen und aufgrund der Vandalensicherheit eine Deckenausführung anzustreben.

Qualitätskriterium 34 (M)	Anforderung
Einschränkung der Körperschallübertragung durch das Gerät an die Wand bzw. den Boden sowie an die Lüftungsrohre	a) Tragfähiger und schwingungsfreier Untergrund
	b) Aufstellung bzw. Aufhängung des Lüftungsgerätes mit schwingungsdämpfenden Elementen
	c) Schwingungstechnische Entkopplung von Gerät und Lüftungsrohren

Wenn Maschinen für Lüftungstechnische Anlagen (z.B. Ventilatoraggregate, Kompressoren) starr aufgestellt werden, wird Körperschall in das Bauwerk geleitet. Die auf ein festes Medium übertragene Schallenergie (Körperschall) ist etwa gleich groß wie die durch die Luft übertragene Schallenergie (Luftschall). (ÖNORM M 7645:1987)

Zur Verringerung der Übertragung von Schwingungen des Gerätes an die Wand bzw. den Fußboden muss die Aufstellung bzw. Aufhängung mit schalldämpfenden Elementen erfolgen. Die schwingungstechnische Entkopplung der Rohrleitungen sollte über elastische Zwischenglieder (z.B. Segeltuchstützen, Weichstoffkompensatoren) erfolgen.

Qualitätskriterium 35 (M)	Anforderung	
Kondensatablauf beim Lüftungsgerät (bei Geräten mit Kondensatbildung)	Dezentral: Das Kondensat kann in einem entsprechenden Sammelbehälter aufgefangen werden (sichtbarer Füllstand), nach außen über die Fassade abgeführt, oder mit geeignetem Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss (z.B. doppelter Siphon oder Trockensiphon) in den Kanal eingeleitet werden.	Zentral: Geeigneter Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss gegen den Kanal (z.B. doppelter Siphon)

Für die Abfuhr des Kondensates auf der Abluftseite muss ein geeigneter Kondensatabfluss mit Geruchsverschluss vorgesehen werden. Kondensat in Form von Wasser tritt dann auf, wenn die Oberflächentemperatur des Wärmetauschers abluftseitig den Taupunkt der Abluft unterschreitet.

Im typischen Winterfall treten für ein dezentrales Klassenzimmerlüftungsgerät theoretische Kondensatmengen am Luft-Luft-Platten-Wärmetauscher von ungefähr 73 g/h bei 500 m³/h Abluftvolumenstrom auf. (Außenluft -1°C, 40 % r.F; Abluft 22°C, 30 % r.F; Plattenwärmetauscher 80 % Wärmerückgewinnungsgrad).

Qualitätskriterium 36 (M)	Anforderung	
Einfache Stromlosschaltung des gesamten Gerätes	Dezentral: Eigene Sicherung bei Direktverdrahtung oder Steckertrennung bzw. Hauptschalter	Zentral: Eigene Sicherung und Hauptschalter

Um bei Fehlfunktionen bzw. Wartungsarbeiten ein einfaches Abschalten zu ermöglichen, sollte das Lüftungsgerät eine eigene Sicherung haben bzw. mittels Stecker oder Hauptschalter einfach stromlos gemacht werden können.

Qualitätskriterium 37 (M)	Anforderung	
Geeignete Regelungsstrategie der Lüftungsanlage für bedarfsgerechte Luftmengen	a) Automatisches Spülen der Klasse vor und nach dem Unterricht mit jeweils zumindest der einfachen Luftmenge des Raumes. Alternativ kann auch ein dauernder Luftvolumenstrom von 0,5 [m³/h] und m² bzw. ein intermediärer Betrieb, der dieser Luftmenge entspricht, gewählt werden.	
	b) Dezentral: Minimalvariante: Anwesenheitssteuerung (z.B. Bewegungsmelder). (IDA - C4)	b) Zentral: Anwesenheitssteuerung zur individuellen Luftmengensteuerung (Auf/Zu) über jedes Klassenzimmer. (IDA - C4) Nur in Ausnahmefällen reine Betriebszeitenregelung über eine Zeitschaltuhr; für gesamtes Gebäude oder Gebäudeteile. (IDA - C3)
	c.) Optimierung: Bedarfsorientierte Luftmengenregelung mit CO ₂ - oder Mischgas- und Feuchtefühler für jede Klasse. (IDA - C6)	
	d.) Dezentral: grüne Kontrollleuchte für Betrieb bzw. rote Kontrollleuchte für Störmeldung im Klassenzimmer.	d.) Zentral: Störmeldung im Raum bzw. im leicht sichtbaren Bereich des Schulwartes bzw. der Verwaltung.

Eine optimale, bedarfsorientierte Regelung der Luftmenge ist nicht nur aus energetischen Gründen, sondern auch zur Bewahrung der Luftfeuchte im Winter notwendig. Die unterschiedliche Benutzung der Klassenzimmer (Abwesenheit, Normalbelegung, Freistunden etc.) bedingt unterschiedlich benötigte Luftmengen. Eine bedarfsgerechte Regelung über CO₂- oder Mischgasfühler und Feuchtekontrolle, ist zwar grundsätzlich anzustreben, doch wird diese aus Kostengründen nicht immer verwirklicht werden können. Bei Klassenräumen, die tendenziell von gleich vielen Schülern benutzt werden, sind reine Anwesenheitssteuerungen möglich. Bei dezentralen Anlagen regeln diese die gesamte Luftmenge des Gerätes, bei zentralen Anlagen nur die Luftmenge für die einzelne Klasse.

Bei einer sehr unterschiedlichen Benutzung der Räume (z.B. Gruppenräume) soll eine raumluftabhängige Regelung statt einer Anwesenheitsregelung eingesetzt werden. Dies bedeutet einen Mehraufwand an Regelorganen, erspart aber unnötigen Strombedarf der Lüftung und bedeutet Vorteile bei der Einhaltung der Feuchteanforderung.

Vereinfachte Konzepte von zentralen Anlagen (insbesondere ohne Feuchterückgewinnung bzw. Befeuchtung) bei denen nicht die Luftmengen der einzelnen Klassen individuell geregelt werden können, sondern die Gesamtanlage mit einer fixen Luft-

menge betrieben wird und über eine Zeitschaltuhr geregelt wird, sind bezüglich der Feuchte äußerst kritisch und sollten vermieden werden.

Die Zeitschaltuhr sollte zumindest über ein Wochenprogramm verfügen, da sich die Nutzung an den einzelnen Tagen deutlich unterscheidet. Der Hauswart sollte zudem Ferien und Nutzungszeitänderungen beachten und die Zeitschaltuhr entsprechend einstellen können.

Tabelle 9.12: Mögliche Arten der Regelung der Raumluftqualität nach ÖNORM EN 13779:2008

Kategorie	Beschreibung
IDA - C1	Anlage läuft konstant
IDA - C2	Manuelle Regelung (Steuerung)
IDA - C3	Zeitabhängige Regelung (Steuerung)
IDA - C4	Anwesenheitsabhängige Regelung (Steuerung)
IDA - C5	Bedarfsabhängige Regelung – Personenanzahl
IDA - C6	Bedarfsabhängige Regelung – Sensoren

Qualitätskriterium 38 (M)	Anforderung
Lüftungsanlage liefert keinen Beitrag zur Überwärmung der Klassenräume	a) Lüftungsgerät muss über einen automatischen Bypass zur Umgehung des Wärmetauschers (oder gleichwertiges System, z.B. Rotationswärmetauscher) für 100 % des Volumenstromes verfügen.
	b) Bei einem EWT muss die Umschalttemperatur und bei Anlagen ohne EWT die untere und die obere Grenze der Umschaltung einstellbar sein.
	c) Bypass muss dicht schließen. Max. Leckage 4 [l/sm ₂] beim Prüfdruck von 500 [Pa] nach EN 1751

In den Sommermonaten, bei einer Nachtkühlung bzw. aufgrund der inneren Wärmen in einer Schulklasse teilweise schon in der Übergangszeit, ist zeitweise keine Wärmerückgewinnung gewünscht. Es ist daher notwendig, die Wärmerückgewinnung regeln bzw. umgehen zu können. Daher sind Geräte, bei denen sich systembedingt die Wärmerückgewinnung nicht ohnehin regeln lässt, mit einer automatischen Bypassklappe zur Umgehung der WRG auszustatten. Bei einem Wärmerad (Rotationswärmetauscher) oder wechselseitig durchströmtem Regenerator (mit Klappen geregelt), ist die Wärmerückgewinnung regelbar und benötigt daher keinen Bypass. Manuelle Umstellungsmöglichkeiten sind für den Schulbetrieb ungeeignet. Bei Anlagen mit einem Erdwärmetauscher ist nur ein Umschaltpunkt notwendig, da die abgekühlte Zuluft immer unter Klassenzimmertemperatur liegt. Bei Anlagen ohne EWT ist auch ein zweiter Umschaltpunkt notwendig, da bei Außentemperaturen über der Raumlufttemperatur mit der Wärmerückgewinnungseinheit die Zuluft wieder abgekühlt werden kann. Um die Gesamteffizienz nicht zu verschlechtern muss der Bypass dicht schließen und der Klasse 4 nach ÖNORM EN 1751:1999 entsprechen.

Qualitätskriterium 39 (M)	Anforderung	
Eingriffsmöglichkeit im Klassenzimmer (Abschaltmöglichkeit)	a) Dezentral: Einfache Abschaltmöglichkeit mit automatischem Anlauf nach 45 Minuten	a) Zentral: Einfache Abschaltmöglichkeit der einzelnen Klasse (z.B. Motorklappe) mit automatischer Zuschaltung nach 45 Minuten
	b) Falls eine Eingriffsmöglichkeit durch die Nutzer besteht, sollte eine Erläuterung direkt neben der Bedieneinheit fix angebracht sein.	

Einfache, leicht verständliche Bedienungseinheiten tragen wesentlich zur Zufriedenheit der Nutzer bei. Eine einfache Bedieneinheit im Raum bei dezentralen Anlagen ermöglicht es den Benutzern auf sich ändernde Umstände schnell zu reagieren. Ist es für spezielle Anlässe (z.B. plötzliche Belastung der Außenluft durch Rauch, Gülle usw.) notwendig, die Lüftungsanlage außer Betrieb zu setzen, so sollte diese nach ca. 45 Minuten wieder automatisch anlaufen, um ein Vergessen des Einschaltens auszuschließen. Wenn eine Bedienung bzw. ein Eingriff in die Anlage durch die Nutzer möglich ist, sollte die Erläuterung direkt bei der entsprechenden Bedieneinheit verfügbar sein.

Qualitätskriterium 40 (E)	Anforderung		
Leistungsgeregelter Frostschutz ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem) Nicht erforderlich, wenn ein EWT mit ausreichendem Temperaturhub vorhanden ist, bzw. ein vereisungssicherer Wärmetauscher verwendet wird. (Auslegungstemperatur: Normaußentemperatur abzüglich 5°C Tagesgang z.B. -16 – 5 = -21°C)	a) Leistungsgeregelter Frostschutz auf max. -2°C Zielwert max. 2°C über dem individuellen Vereisungspunkt des Wärmetauschers		
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C		
	c) Wassergeführt: Frostschutzregister gefüllt mit unbedenklichem Frostschutz auf -25°C oder sonstige Frostschutzmaßnahmen		
	d) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)		
	e) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Frostschutzfunktion		
	f) Dezentral: Wenn elektrisch: leistungsgeregeltes Frostschutzregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	f) Zentral: kein elektrischer Frostschutz	
	g) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	g) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]	

Eine Erwärmung deutlich über den Vereisungspunkt des Wärmetauschers bedeutet eine Einschränkung der Wärmerückgewinnung und ist daher nicht erwünscht. Dies lässt sich nur durch ein geregeltes Vorheizregister erzielen, da ansonsten aufgrund der Auslegung des Heizregisters auf die maximale Spreizung am Tag der Normaußentemperatur es in den übrigen Zeiten zu einer zu hohen Vorwärmung kommt. Z.B. Normaußentemperatur -16°C – 5°C Tagesgang, d.h. -21°C Auslegungstemperatur, Vereisungstemperatur z.B. -4°C bedeuten eine Spreizung von 17°C . Bei -6°C würde dann die Luft ohne Leistungsregelung auf 11°C vorgewärmt. Zur Vermeidung von Staubverschmelzung ist auch bei el. Vorheizregister die Oberflächentemperatur auf 55°C zu beschränken, z.B. durch PTC-Heizregister. Bei zentralen Anlagen ist eine rein elektrische Luftvorwärmung gesamtenergetisch nicht zielführend.

Zusätzlich ist bei der Einbindung der Luftvorwärmung in das Heizungssystem neben der Einschränkung der Temperatur am Heizregister (Staubverschmelzung, Einbindung ins Niedertemperatursystem) auf eine ausreichende Betriebssicherheit bei sehr kalten Außentemperaturen zu achten. Eine sichere Möglichkeit ist die Entkopplung der wassergeführten Vorerwärmung durch einen gesonderten und mit Frostschutz gefüllten thermostatisch geregelten Vorwärmkreis. Auch bei einem möglichen Ausfall der Heizung und gleichzeitigem Lüftungsbetrieb kann das Frostschutzregister nicht einfrieren und Schaden nehmen.

Qualitätskriterium 41 (E)	Anforderung		
<p>Leistungsgeregelte Nacherwärmung ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem)</p> <p>Nicht erforderlich, wenn durch einen EWT mit ausreichendem Temperaturhub oder eine andere Vorwärmung als Vereisungsschutz und einer hochwertigen Wärmerückgewinnung die minimale Einströmtemperatur beim Ventil von 19°C erreicht wird.</p>	a) Leistungsgeregelte Nacherwärmung auf max. 20°C		
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C		
	c) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)		
	d) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Nachheizfunktion		
	e) Elektrisch: leistungsgeregeltes Heizregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	e) Zentral: Keine elektrische Nacherwärmung	
	f) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	f) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]	

Grundsätzlich gelten auch hier im Wesentlichen auch die Punkte des Kriteriums 32 wobei hier nicht die Reduktion des Wärmerückgewinnungsgrades, sondern der Ersatz von Heizenergie durch Strom vermieden werden soll.

Qualitätskriterium 42 (E)	Anforderung
Nachlüftungsmöglichkeit	Bei Raumtemperaturen über 24°C im Sommer und mindestens 3°C niedrigerer Außentemperatur soll die Anlage automatisch eine Nachlüftung ohne Wärmerückgewinnung zur Raumkühlung durchführen können.

Für eine Nachkühlung mit der Lüftungsanlage ist es notwendig, dass der Wärmetauscher des Geräts außer Funktion gesetzt werden kann, d.h. regelbarer Wärmetauscher (Rotation) oder Bypass (siehe Kriterium 38).

Qualitätskriterium 43 (E)	Anforderung
Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung	a) Feuchterückgewinnung mit rein dampfförmiger Feuchteübertragung (ohne Kondensat)
	b) Wenn eine Feuchterückgewinnung vorhanden ist sollte diese regelbar sein.

Um die Feuchteproblematik bei kalten Außentemperaturen zu entschärfen, wären Wärmetauscher mit hygienisch unbedenklicher und regelbarer Feuchterückgewinnung (ohne Kondensation) wünschenswert. Eine Feuchterückgewinnung mit Kondensatnutzung gilt als hygienisch bedenklich und sollte daher vermieden werden. Da nicht immer eine Feuchterückgewinnung erwünscht ist (Übergangszeit–Sommer), sollte diese wie die Wärmerückgewinnung regelbar sein. Regelbare Wärmerückgewinnung und Feuchterückgewinnung können insbesondere von Rotationswärmetauschern sehr gut erfüllt werden.

Qualitätskriterium 44 (E)	Anforderung
Keine bzw. hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung Hinweis: Grundsätzlich sollte durch eine bedarfsoptimierte Luftmengenregelung und eine Feuchterückgewinnung keine aktive Befeuchtung notwendig sein.	a) Nachweis, dass aktive Befeuchtung unbedingt notwendig ist und sich nicht durch andere Maßnahmen vermeiden lässt.
	b) Falls nachweislich notwendig: Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung nach ÖNORM H 6021 bzw. VDI 6022
	c) Nachweisliche Sicherstellung der regelmäßigen Hygienekontrollen nach VDI 6022 Checkliste

Grundsätzlich sollte durch eine bedarfsoptimierte Luftmengenregelung und eine Feuchterückgewinnung keine aktive Befeuchtung notwendig sein. Eine aktive Befeuchtung sollte für den Schulbereich nur in Ausnahmefällen umgesetzt werden. Lässt sich eine aktive Befeuchtung nicht vermeiden, sind die hygienischen Kriterien der ÖNORM H 6021:2003 bzw. VDI 6022:2006 zu beachten. Anlagen mit Befeuchtung bedürfen bei Pflege und Wartung besondere Aufmerksamkeit. Die Checkliste der VDI 6022:2006 ist diesbezüglich eine wertvolle Hilfe.

9.4.5 Qualitätskriterien für das Verteilnetz (Luftleitungen)

Voraussetzung (V5)	Anforderung
Wahl eines geeigneten Verteilkonzeptes (Sternverrohrung oder Verrohrung mit Abzweigern) unter Beachtung der landesspezifischen Brandschutzbestimmungen bzw. der ÖNORM M 7624 sowie geeignete Lufteinbringung (Quell- oder Induktionslüftung)	a) Dem Gebäude angepasstes Verteilkonzept. (Siehe auch Information zur Luftverteilung)
	b) Bei Durchdringungen von Brandabschnitten durch die Luftleitungen ist auf den Erhalt der Brandabschnitte zu achten.
	c) Den Raumverhältnissen bzw. sonstigen Anforderungen angepasstes Lüftungsprinzip mit hoher Lüftungseffektivität (Bevorzugt Quellluftsystem).

Die Wahl eines geeigneten Verteilkonzeptes, abhängig von den Raum- bzw. Gesamtverhältnissen, stellt ein umfassendes und spezifisches Wissen des Anlagenplaners voraus. Eine generelle Vorgabe ist nicht möglich. Grundsätzlich ist aufgrund der höheren Lüftungseffektivität ein Quellluftsystem anzustreben.

Die brandschutztechnischen Aspekte der ÖNORM M 7624:1985 und die landesspezifischen Brandschutzbestimmungen, bzw. OIB Richtlinie 2 (April 2007) sind zu beachten.

Qualitätskriterium 45 (M)	Anforderung	
Geringer Druckabfall im Luftleitungsnetz	Dezentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Zuluft Einheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 50 [Pa]	Zentral: Max. 200 [Pa] je kompletter Zuluft Einheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 100 [Pa]
	Dezentral: Max. 50 [Pa] je kompletter Abluft Einheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 30 [Pa]	Zentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Abluft Einheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 60 [Pa]

Nur bei entsprechender Dimensionierung und Ausführung der Luftleitungen können die wichtigen Punkte – geräuscharmer Betrieb und geringer Strombedarf – erreicht werden. Wesentlicher Punkt ist dabei ein geringer Druckverlust im Gesamtsystem, da ein hoher Druckverlust für zusätzliche Geräusche bzw. für eine höhere Ventilatorleistung verantwortlich ist. Dies bedeutet meist aber höhere Investitionskosten und einen höheren Platzbedarf.

Bei der Dimensionierung ist der Strang mit dem höchsten Druckverlust ausschlaggebend, da die anderen Stränge entsprechend gedrosselt werden müssen. D.h. auch auf ausgewogene Druckverluste in den einzelnen Strängen ist zu achten.

Beispielsweise Aufteilung des Druckverlustes einer Außenluft-Zuluft Einheit.

Tabelle 9.13: Beispielweise Aufteilung des Druckverlustes der Außenluft-Zulufteinheit.

Bauteil	Druckverlust [Pa]
Außenluftansaugung	20
EWT	20
Schalldämpfer	10
Luftleitungssystem	80
Lufteinlass bzw. Auslass	20
Summe	150

Qualitätskriterium 46 (M)	Anforderung
Geeignete Rohr- bzw. Kanalausführung	a) Runde Luftleitungen bevorzugen
	b) Innen glatt (Wickelfalzrohr, Kunststoffrohre, ...) (keine Verwendung nicht reinigbarer Schläuche mit hohem Druckverlust, z.B. Aluflexrohre, Kunststoffdrahtschlauch)
	b) Die Luftleitungen müssen dem Brandverhalten „A2“ gemäß EN 13501 entsprechen.

Neben der Luftgeschwindigkeit ist die Rohr- bzw. Kanalausführung der wesentliche Parametereinfluss für den Druckverlust. Glatte Rohre bieten einen deutlich geringeren Druckverlust als flexible Schläuche.

Zum Vergleich: Ein flexibler Schlauch mit 250 mm Durchmesser und bei 500 m³/h Luftdurchsatz (3 m/s) hat einen spezifischen Druckverlust von 0,8 Pa/m. Beim starren glattwandigen Rohr ergibt sich unter den gleichen Bedingungen ein Druckverlust von 0,5 Pa/m. Dies bedeutet eine Minderung von über 35 %. Zudem ist die Reinigungsmöglichkeit von nicht glatten Luftleitungen äußerst problematisch. Lt. Vorschlag ÖNORM H 6039: Stand 9.1.2008 ist die Verwendung von flexiblen Luftleitungen zu vermeiden und nur für Anschlüsse an Luftdurchlässe bis zu 500 mm gestreckter Länge zulässig. Rohre mit Innendämmungen sind nicht zulässig.

Qualitätskriterium 47 (M)	Anforderung	
Dichte Rohr- bzw. Kanalausführung	Dezentral: keine Anforderung	a) Dichtigkeitsklasse C nach Ö-NORM EN 12237 durch Rohre bzw. Kanäle mit Dichtungssystem bzw. Verklebung der Verbindungsstellen mit dauerelastischen Klebebändern (z.B. Kaltschrumpfband – Butylkautschukband, Acrylatklebeband, spezielle Aluklebebänder). Zielwert: Dichtigkeitsklasse D
		b) Bei Zu- und Abluftkanälen in einem gemeinsamen Schacht muss bei Wickelfalzrohren im Wickelfalz eine Dichtschnur eingelegt sein.

Um die von dem Lüftungsgerät geförderte Luftmenge tatsächlich zu den Luftauslässen bzw. in die Räume zu bringen, muss das Rohr bzw. Kanalnetz möglichst dicht sein. Undichte Luftleitungen wirken sich äußerst negativ auf die Gesamteffizienz aus, da die Undichtigkeiten durch höhere Gesamtluftmengen der Lüftungsanlage ausgeglichen werden müssen. Die EN 13779:2008 gibt als allgemeine Mindestanforderung die Klasse B an und empfiehlt bei hohen Anforderungen an Hygiene und Energieeffizienz die Klasse D. Im Vorschlag ÖNORM 6039: Stand 9.1.2008 ist die Klasse B enthalten und C als Empfehlung enthalten. Die Ausführung des Rohrsystems sollte für eine hohe Gesamteffizienz daher mindestens eine Dichtheit der Dichtigkeitsklasse C nach ÖNORM EN 12237:2003 Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech aufweisen. In der folgenden Tabelle sind die Dichtigkeitsklassen angegeben.

Tabelle 9.14: Klassifizierung von Luftleitungen nach ÖNORM EN 12237:2003

Luftdichtigkeitsklasse	Grenzwert des statischen Drucks [p _s] [Pa]		Grenzwert der Luftleckrate (f _{max}) [m ³ *s ⁻¹ *m ⁻²]
	positiv	negativ	
A	500	500	0,027*p ^{0,65*10⁻³}
B	1000	750	0,009*p ^{0,65*10⁻³}
C	2000	750	0,003*p ^{0,65*10⁻³}
D	2000	750	0,001*p ^{0,65*10⁻³}

Um die Dichtheit des Rohrsystems auch längerfristig garantieren zu können, sind Rohre/Kanäle mit Dichtungssystem oder dauerelastische Dichtbänder zu verwenden. Bei Wickelfalzrohren, die im Wickelfalz an sich nicht dicht sind, ist, insbesondere bei einer gleichzeitigen Verlegung von Zu- und Abluft in einem gemeinsamen Schacht, die Variante mit Dichtschnur im Falz empfehlenswert, um keinen Luftkurzschluss zur Abluft zu bekommen.

Qualitätskriterium 48 (M)	Anforderung
Einfache Reinigung der Rohrleitungen bzw. Kanäle möglich	a) Reinigungsfreundliche Ausführung der gesamten Luftleitung mit ausreichender Anzahl und Zugänglichkeit der Reinigungsöffnungen gemäß EN 12097
	b) Reinigungsöffnungen gemäß ENV 12097
	c) Max. zwei 90° Bögen bis zur Reinigungsöffnung
	d) Austauschbare Schalldämpfer (z.B. nicht einbetoniert)
	e) Kein Einziehen anderer Leitungen (Elektro, Heizung, ...) in die Luftleitungen

Auch wenn geeignete Filter die Anlage vor Verschmutzung schützen sollten, ist damit zu rechnen, dass ein Lüftungsnetz trotzdem in gewissen Abständen gereinigt werden muss. Das Luftleitungssystem muss daher nach ÖNORM ENV 12097:2006 „Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Anforderungen an Luftleitungsbauteile zur Wartung von Luftleitungssystemen“ so ausgelegt, hergestellt und eingebaut sein, dass eine Reinigung sämtlicher Innenflächen und Bauteile möglich ist und die Zugangsdeckel der Luftleitungen müssen ohne Behinderung zugänglich sein.

Qualitätskriterium 49 (M)	Anforderung	
Geringe Schallausbreitung über das Kanalnetz	a) Dezentral: keine Anforderung	a) Zentral: Schalldämmung der Luftleitungen zwischen den Klassenräumen zumindest in der erforderlichen Zwischenwandqualität. (55 [dB(A)] nach ÖNORM B 8115-2)
	b) Trittschalldämmungen dürfen nicht durch Luftleitungen überbrückt bzw. geschwächt werden.	
	c) Das Schalldämmmaß der Außenhülle darf durch die Luftleitungen nicht merklich verschlechtert werden.	
	d) Zu- bzw. Abluftdurchlässe im Geräteaufstellungsraum bzw. in Räumen mit größeren Schallquellen sind mit entsprechenden Schalldämpfern auszurüsten.	

Die ÖNORM B 8115-2:2006 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau; Teil 2: Anforderung an den Schallschutz“ gibt den Luftschallschutz zwischen Klassenzimmer mit 55 dB ohne Tür und mit 38 dB mit Tür an. Die erforderliche Trittschalldämmung gibt die ÖNORM B 8115-2:2006 für Schulen und Kindergärten mit 48 dB an. Diese Schalldämmmaße sollen durch die Lüftungsanlage nicht geschwächt werden. Klassenräume, die mit Räumen mit höherer Schallbelastung (z.B. Werkräume) verbunden sind, erfordern je nach Leitungsführung meist zusätzliche Schalldämpfer.

Qualitätskriterium 50 (M)	Anforderung
Keine Geräuschbildung durch Schwingungen (Vibrieren) der Lüftungsrohre bzw. keine Körperschallübertragung durch die Rohre	a) Schwingungsdämpfende Aufhängung bzw. Befestigung in regelmäßigen Abständen. Zumindest alle 2 Meter
	b) Keinerlei direkte Verbindung zum Fußboden, Mauerwerk, Rohrleitungen, etc.

Wenn die Körperschallleitung möglichst klein gehalten werden muss, sind zur wirkungsvollen Verringerung der Schallübertragung nicht nur Anschlüsse von Ventilatoren an Luftleitungen, Gerätegehäuse u. a. über elastische Zwischenglieder (z.B. Segeltuchstutzen, Weichstoffkompensatoren) erforderlich (siehe Kriterium 34), sondern es müssen alle Befestigungen aller Anlagenteile sowie alle Wand und Deckendurchtritte körperschalldämmend ausgeführt werden (ÖNORM M 7645:1987).

Um unangenehme Geräuschübertragungen zu vermeiden, sollten Lüftungsrohre zumindest alle 2 Meter mit einer schwingungsdämpfenden Aufhängung befestigt werden. Das Lüftungsrohr darf zudem keine direkte Verbindung zu Fußböden, Mauerwerk (insbesondere bei Durchbrüchen), Rohrleitungen etc. aufweisen, da sonst Körperschallübertragungen stattfinden können. Die Rohre sind mit dämpfenden bzw. elastischen Materialien (z.B. Schaumstoff) schalltechnisch zu entkoppeln.

Qualitätskriterium 51 (M)	Anforderung
Vermeidung von Raumauskühlung und Kondensat auf (kalten) Außenluft- und Fortluftleitung im warmen Bereich (innerhalb der Dämmhülle, im Keller bzw. im geschlossenen Dachbereich) Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen	a) Möglichst kurze Außenluft- bzw. Fortluftleitungen im warmen Bereich
	b) Mindestens 30 mm feuchtegeeignete, geschlossenzellige Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) im unbeheizten Bereich
	c) Mindestens 120 mm Wärmedämmung (Lambda 0,04 [W/mK]) in beheizten Bereichen. Wobei zumindest die inneren 30 mm aus einer feuchtebeständigen, geschlossenzelligen Wärmedämmung (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) bestehen muss.

Werden kalte Lüftungsrohre (Außenluftleitung bzw. Fortluftleitung) in warmen Bereichen geführt (z.B. im Keller), kommt es an der kalten Leitungsoberfläche zu Kondensationserscheinungen und Wärmeverlusten des warmen Raumes. Die Rohrleitungen sind daher mit einer entsprechend feuchtebeständigen Wärmedämmung (z.B. geschlossenzelliger Dämmstoff) zu versehen. Um Kosten zu sparen, kann die Dämmschicht geteilt werden, wobei zur Kondensatvermeidung zumindest die inneren 30 mm aus einer feuchtebeständigen, geschlossenzelligen Wärmedämmung (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) bestehen muss. Eine genaue Berechnung der Dämmstärke zur Kondensatfreiheit kann anhand der VDI 2087 errechnet werden. Die erhöhten Dämmstärken dienen dazu den Wärmeverlust des Raumes zu reduzieren (Die Au-

ßenluftleitung ist wie ein Bauteil – Wand, Decke – zu Außenluft zu betrachten). Ziel muss aber eine möglichst kurze Leitungsführung von kalten Rohren in warmen Bereichen sein.

Qualitätskriterium 52 (M)	Anforderung
<p>Geringe Energieverluste von warmen Luftleitungen (Zuluft und Abluft) im kalten Bereich (außerhalb der Dämmhülle)</p> <p>Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen.</p>	a) Möglichst kurze Zu- bzw. Abluftleitungen im kalten Bereich
	b) Mindestens 60 mm Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) im unbeheizten Bereich (z.B. Keller)
	c) Befinden sich Luftleitungen im Boden- bzw. Deckenaufbau nicht völlig innerhalb des warmen Bereiches, sondern direkt in der Dämmebene, so ist die Luftleitung zumindest mit einer 30 mm dicken Dämmplatte von der Rohdecke zu trennen. (Lambda 0,04 [W/mK])
	d) Wird die Luftleitung außerhalb der Außenhülle (nur Sanierung) geführt, sollte diese zumindest 120 mm hinterlüftungsfrei überdämmt sein. (Lambda 0,04 [W/mK])

Werden warme Lüftungsrohre (Zuluft- bzw. Abluftleitungen) in kalten Bereichen geführt, kommt es zu einer Abkühlung der Zu- bzw. Abluft, und zu einer Verschlechterung des energetischen Wirkungsgrades. Als kalte Bereiche werden alle Bereiche außerhalb der Dämmhülle angesehen. Zudem kann bei längeren Zuluftleitungen eine Auskühlung der Zuluft auf ein unbehagliches Niveau erfolgen, obwohl die Zuluft nach dem Lüftungsgerät ausreichend hohe Temperaturen hatte. Wird über die Lüftungsanlage auch noch Wärme eingebracht (Passivhauskonzept), wiegen diese Verluste natürlich noch stärker, und die Dämmstärke ist von 60 mm auf 120 mm zu erhöhen. Ziel muss aber eine möglichst kurze Leitungsführung von warmen Rohren in kalten Bereichen sein. Bei der Verlegung der Luftleitungen auf kalten Decken (z.B. von oben gedämmte Kellerdecke) ist eine thermische Entkopplung von der kalten Kellerdecke durch eine zumindest 30 mm dicke Dämmschicht unbedingt notwendig, um Wärmeverluste zu verringern. Grundsätzlich ist eine Rohrführung in oder außerhalb der äußeren Dämmebene bzw. im Freien zu vermeiden. Ist dies aber unbedingt notwendig (z.B. Sanierung), ist die Luftleitung mit 120 mm Dämmung zu versehen.

Qualitätskriterium 53 (M)	Anforderung
Keine zusätzliche Geräuschbildung beim Durchlass (Ventil) durch Verwirbelungen im Rohrsystem	Keine Abzweiger kurz vor bzw. nach dem Durchlass (Ventil). Abstand zum Durchlass zumindest 0,75 m. Ist dies nicht möglich, ist ein Anschlusskasten für den Durchlass zu verwenden.

Verwirbelungen vor bzw. nach dem Ventil bedeuten zusätzliche Geräusche (insbesondere bei Zuluft einlassen). Es sollte daher eine möglichst beruhigte, gleichmäßige Strömung auf den Durchlass (Ventil) treffen. Ideal wäre ein gerades Rohrstück ohne Abzweiger und Umlenkung. Umlenkungen vor dem Durchlass lassen sich jedoch nicht immer vermeiden. Abzweiger sind besonders geräuschintensiv, sie sollten zumindest einen Abstand von 0,75 m zum Durchlass haben. Ist dies nicht möglich, ist ein Anschlusskasten für den Durchlass (möglichst mit Lochblecheinsatz bzw. Prallblech) vorzusehen.

Qualitätskriterium 54 (M)	Anforderung
Geeignete Ein- und Auslässe (Zu- und Abluftventile) und geeignete Anbringung	a) Ein- und Auslässe für die entsprechende Luftverteilung (ausreichende Größe für die Luftmenge, Wurfweite, Wurfrichtung)
	b) Druckverlustausgleich durch Durchlässe nur bis zu 30 Pa bzw. bis zum maximalen Geräuschpegel nach Auslegungsdiagramm lt. Kriterium 4a–c. Größere Druckunterschiede sind durch Drosselklappen auszugleichen (mögl. weit entfernt v. Durchlass bzw. noch vor dem Schalldämpfer)
	c) Geeignete Durchlassanbringung für optimale Raumdurchströmung und minimale Schallbelastung (je nach Verteilkonzept)
	d) Durchlassabstand von Kanten und Ecken mind. 20 cm
	e) Einfache Fixierung der eingestellten Luftmenge
	f) Einfache Reinigung

Bei der Durchlassauswahl ist auf die entsprechende Funktion (Zu- oder Abluft), auf die Größe für die Luftmenge und beim Zuluftdurchlass zusätzlich auf die Wurfweite bzw. Wurfrichtung zu achten. Die Wurfweiteänderungen bei sich ändernden Volumenströmen aus z.B. CO₂-gesteuerter Raumregelung sind zu beachten. Werden zu große Druckverlustunterschiede der einzelnen Rohrleitungen durch die Durchlässe ausgeglichen, kommt es zu unerwünschten Geräuschen bei den stark gedrosselten Durchlässen. Ein Druckunterschied von über 30 Pa sollte daher in den einzelnen Rohrleitungen durch ein eigenes, möglichst weit entfernt vom Durchlass angebrachtes, Drosselorgan ausgeglichen werden.

Qualitätskriterium 55 (M)	Anforderung
Ausreichend große Überströmöffnungen bei Einhaltung der Schallanforderungen	a) Luftgeschwindigkeit max. 2 [m/s] bzw. max. 4 [Pa] Druckverlust
	b) Schalldämmmaß der Wand, Tür, ... muss auch mit der Überströmvorrichtung den Schallanforderungen entsprechen.

Den Überströmöffnungen wird vielfach zu wenig Beachtung geschenkt. Der Druckverlust zwischen den einzelnen Bereichen (Zuluftbereich – Überströmbereich – Abluftbereich) sollte jeweils maximal 4 Pa betragen. Dies lässt sich durch dementsprechende große Überströmöffnungen erreichen.

Qualitätskriterium 56 (E)	Anforderung
Richtige Anbringung der Überströmöffnungen	a) Quellluftsysteme: Überströmung von der Klasse in der Nähe der Decke
	b) Induktionssysteme: Je nach Wahl der Raumdurchströmung

Um eine möglichst saubere Raumdurchströmung zu erhalten, ist auch auf die Lage der Überströmöffnung in Bezug auf das gewählte Lüftungsprinzip (Quellluft oder Induktion) und die Lage der Zuluftöffnungen Rücksicht zu nehmen. Bei Quellluftsystemen sollte sich die Überströmöffnung möglichst auf der gegenüberliegenden Wandseite des Quellluftauslasses knapp unter der Decke befinden. Beim Induktionssystem hängt die Lage der Überströmöffnung von der Art des verwendeten Zuluftdurchlasses, aber auch von der Zulufttemperatur ab. Bei Weitwurfdüsen kann sich die Überströmöffnung prinzipiell auf der gleichen Seite wie das Ventil befinden. Werden Tellerventile oder induktionsarme Auslässe verwendet ist eine Anordnung der Überströmöffnungen auf der gegenüberliegenden Seite günstiger.

Qualitätskriterium 57 (E)	Anforderung																	
Geringe Luftgeschwindigkeit in den Luftleitungen (beim Betriebsluftvolumenstrom)	a) In den Strängen innerhalb der Klasse bzw. zu und von den einzelnen Räumen max. 2,5 [m/s]																	
	b) Sammelstränge max. 3,5 [m/s]																	
	Maximale Luftmengen bei ausgewählten Rohrdurchmessern:																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rohr Durchmesser</th> <th>max. 3,5 [m/s]</th> <th>max. 2,5 [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>150 [mm]</td> <td>220 [m³/h]</td> <td>160 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>160 [mm]</td> <td>250 [m³/h]</td> <td>180 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>200 [mm]</td> <td>390 [m³/h]</td> <td>280 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>250 [mm]</td> <td>620 [m³/h]</td> <td>440 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>300 [mm]</td> <td>890 [m³/h]</td> <td>630 [m³/h]</td> </tr> </tbody> </table>	Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]	150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]	160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]	200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]	250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]	300 [mm]	890 [m³/h]
Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]																
150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]																
160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]																
200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]																
250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]																
300 [mm]	890 [m³/h]	630 [m³/h]																
Achtung: Dimensionierung von Rechteckquerschnitten über den hydraulischen Durchmesser und nicht über die Geschwindigkeit.																		

Neben dem Geräusch des Lüftungsgerätes (Ventilator) sind meist Strömungsgeräusche in den Luftleitungen für Lärmbelastungen verantwortlich. Da die höhere Luftgeschwindigkeit durch den höheren Druckverlust auch eine höhere Geräteleistung bedeutet, wirkt sich eine zu hohe Luftgeschwindigkeit in doppelter Weise auf die Geräuschsituation aus. Einmal durch höhere Strömungsgeräusche und einmal durch das Ansteigen des Schallpegels beim Gerät. Zudem wirkt sich der Druckverlust nicht proportional, sondern mit der zweifachen Potenz der Luftgeschwindigkeit aus, d.h. eine doppelte Luftgeschwindigkeit bedeutet einen 4-fachen Druckverlust. Die Geschwindigkeit sollte daher in den Verteilsträngen 2,5 m/s und in den Sammelsträngen 3,5 m/s nicht übersteigen. Vor einzelnen Ventilen bzw. Auslässen ist eine noch geringere Geschwindigkeit (möglichst verwirbelungsfrei) wünschenswert, damit es zu keiner Geräuschbildung beim Ventil kommt. Bei nicht runden Querschnitten muss der Kanal auf den hydraulischen Durchmesser umgerechnet werden: $d_h = 4xA/U$ (d_h = hydraulischer Durchmesser, A = Querschnittsfläche, U = Umfang).

Bei engen Platzverhältnissen können die Geschwindigkeiten in den Verteilsträngen und in den Sammelsträngen auf 4,5 m/s erhöht werden. In diesen Fällen ist jedoch eine Berechnung des zu erwarteten Schalldruckpegels (nach VDI 2081) zu erbringen.

Qualitätskriterium 58 (E)	Anforderung
Geringer Druckverlust durch Formteile	Verwendung strömungsgünstiger Formteile, z.B. „weite 90° Bögen“ oder 2 x 45° Bögen

Ein Bogen mit runden Ecken bedeutet einen Widerstandsbeiwert von 0,35 und ein Bogen mit scharfer Ecke bedeutet einen Widerstandsbeiwert von 1,20, was einem Faktor größer 3 entspricht. In der Kombination von hohen Geschwindigkeiten und hohen Widerstandsbeiwerten liegt das größte Manko in der Luftführung. Ein runder Bogen ($\zeta=0,35$) mit 1,5 m/s Luftgeschwindigkeit erzeugt einen Druckverlust von 0,5 Pa und ein eckiger Bogen ($\zeta=1,2$) mit 3 m/s Luftgeschwindigkeit bedeutet einen Druckverlust von 6,5 Pa. D.h. der Druckverlust ist 13-mal so groß (vgl. Greml et. al., 2003).

Qualitätskriterium 59 (E)	Anforderung
Regeleinrichtungen mit geringem Mindestdruckverlust	Luftmengenregulierungen, insbesondere Konstantvolumenstromregler, mit geringem Mindestdruckverlust (insbesondere im kritischen Strang)

Insbesondere für den kritischen Strang sind auch die Mindestdruckverluste von Luftmengenregulierungen zu optimieren. In den übrigen Strängen muss ohnehin gedrosselt werden, sodass der Druckverlust normalerweise ohne Auswirkungen ist.

Qualitätskriterium 60 (E)	Anforderung
Konkrete Druckverlustberechnung bzw. Optimierung der Druckverluste	Berechnung der Druckverluste in den einzelnen Strängen. Optimierung des „kritischen“ Stranges bzw. Bestimmung der Voreinstellung der Durchlässe bzw. Drosseleinrichtungen.

Eine Berechnung der Druckverluste in den einzelnen Rohrbereichen gehört zu jeder Lüftungsanlage. Eine genaue Berechnung der Druckverluste mit einer Bestimmung der Voreinstellung der Durchlässe und Drosseleinrichtung erleichtert die hydraulische Einregulierung wesentlich. Die Optimierung des „kritischen Stranges“, d.h. des Stranges mit den größten Druckverlusten (abhängig von der Länge, der Anzahl der Umlenkungen und vom Volumenstrom), trägt wesentlich zum effizienten und geräuscharmen Betrieb bei.

Qualitätskriterium 61 (E)	Anforderung
Konkrete Berechnung der notwendigen Schalldämpfer	Berechnung der notwendigen Schalldämpfer (z.B. nach VDI 2081), bzw. Verwendung eines auf das Gerät abgestimmten Schalldämpfersystems

Bei den meisten raumluftechnischen Anlagen reicht die Dämpfung des erzeugten Schalldruckpegels nicht aus, um im Raum die geforderten Werte zu erreichen. Aus diesem Grund sind Schalldämpfer in einer Anlage zu verwenden.

Die Berechnung der notwendigen Schalldämpferanzahl bzw. Länge kann anhand der VDI 2081 oder mit Softwarepaketen erfolgen. Es ist auf die dort angeführten Randbedingungen besonders zu achten. Nach Möglichkeit sind frequenzmäßig speziell auf das Gerät abgestimmte Schalldämpfer, wie sie von Systemanbietern offeriert werden, zu empfehlen.

9.5 Qualitative Ergebnisse der Evaluierung

Im Folgenden sind die wesentlichen qualitativen Ergebnisse und Erfahrungen der technischen Evaluierung, aber auch die von früheren Studien, in der Reihenfolge der Qualitätskriterien aufgeführt. Auf eine statistische Auswertung wurde weitgehend verzichtet, da aufgrund von nur 16 Anlagen, die zudem mit unterschiedlichen Systemen ausgeführt sind, keine entsprechende Aussagekraft besteht. Es sind daher nur ausgewählte Qualitätskriterien, bei denen eine qualitative Aussage getroffen werden kann, enthalten.

Qualitätskriterium 1 (M)	Anforderung
<p>Beschränkung des maximalen CO₂-Gehaltes der Klassenzimmerluft</p> <p>AUL * = CO₂-Außenluftwerte nach ÖNORM EN 13779:</p> <p>Land: 350 ppm Stadt: 400 ppm Stadtzentren: 450 ppm</p> <p>Für die 61 Qualitätskriterien und die Luftmengen von Kriterium 2 wurden 400 ppm als Außenluft-Ausgangswert angesetzt.</p>	<p>Der CO₂-Gehalt im Klassenzimmer sollte max. 1.200 [ppm] (400+800) betragen (IDA 3 mittlere Raumlufqualität – Standardwert).</p> <p>Zielwert: max. 1.000 [ppm] (400+600) (IDA 2 hohe Raumlufqualität – Maximalwert)</p> <p>Die CO₂-Werte dürfen bei einer Luftmengenreduktion aufgrund der Feuchteregelung bei Außentemperaturen unter 0°C bis max. 1.400 [ppm] (400+1000) ansteigen.</p> <p>Info: Raumlufqualität nach ÖNORM EN 13779:</p> <p>IDA 1: spezielle Raumlufqualität <350 über AUL*</p> <p>IDA 2: hohe Raumlufqualität +400 bis 600 (Standardwert 500) ppm über AUL*</p> <p>IDA 3: mittlere Raumlufqualität +600 bis 1000 (Standardwert 800) ppm über AUL*</p> <p>IDA 4: niedrige Raumlufqualität >1.000 über AUL*</p>

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die gewünschten CO₂-Werte konnten von den Anlagen nur teilweise erreicht werden. Die gemessenen Werte passen durchwegs sehr gut mit den subjektiven Eindrücken der LehrerInnen und SchülerInnen zusammen. Höhere CO₂-Werte (insbesondere über 1.400 ppm), bzw. die damit verbundene Luftqualität wurden oft mit einer mangelhaften Funktion der Anlage verbunden. Eine Anlage war nur während der großen Pausen und 2 Stunden vor dem Unterricht in Betrieb und wurde daher nicht in die folgende Grafik aufgenommen.

Die gemessenen Werte zeigen, dass nur 4 Anlagen die Innenluftqualität IDA 3 nach der EN 13779:2008 mit max. 1.200 ppm (Standardwert) einhalten konnten. IDA 2 erreichte keine der Anlagen, eine lag aber nur sehr knapp darüber; 5 Anlagen lagen teils deutlich über 1.900 ppm. Man muss jedoch beachten, dass es sich bei den Messungen um die Maximalwerte bzw. um Momentaufnahmen und um jeweils nur eine Klasse der Schule handelt. Bei Anlagen mit CO₂-Werten über 1.900 ppm (Grenzwert für Fensterlüftung) ist natürlich die Frage zulässige, ob die Investition und der Aufwand in die Lüftungsanlage gerechtfertigt waren. Davor müsste aber die Ursache (Falsche Auslegung bzw. Einstellung, Luftmengenreduktion aus Schallgründen, ...) in jedem Einzelfall genau geklärt werden. Dies war im Rahmen der Evaluierung jedoch nicht in jedem Einzelfall möglich.

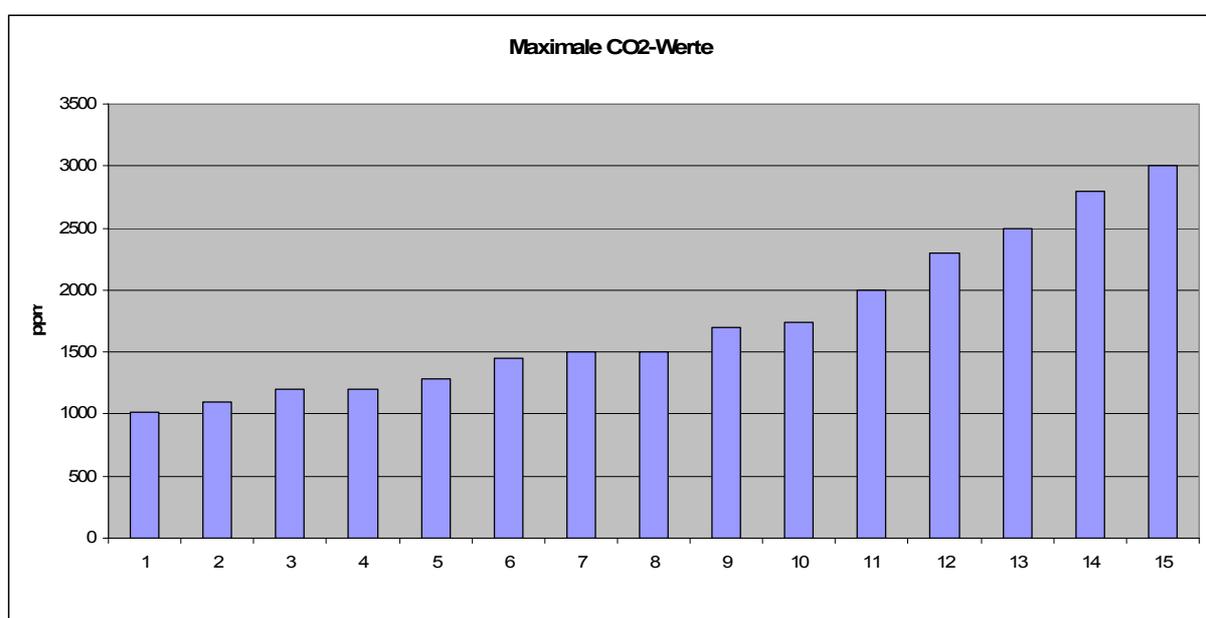


Abbildung 9.21: Maximale CO₂-Werte in den Klassenzimmern

Grundsätzlich hingen die teils hohen CO₂-Werte vor allem mit zwei Faktoren zusammen. Entweder waren die Luftmengen von vornherein zu knapp bemessen, oder die Anlage lief – meist aus Schallgründen – auf einer reduzierten Stufe. Bei den Ausschreibungen waren durchwegs keine konkreten Luftqualitätswerte gefordert, bzw. wurde die erreichte Luftqualität nur in den seltensten Fällen vom Auftraggeber auch kontrolliert. Die unpräzise Ausschreibung und die etwas aufwändige Messung der Luftqualität führen dazu, dass Anlagen zwar oft nicht ihren eigentlichen Anspruch einer hohen Luftqualität ausreichend erfüllen, aber auch keine Verbesserungen eingeleitet wurden. Würde bei einer Heizung nur eine teilweise Zielerreichung gegeben sein, d.h. diese z.B. nur 16°C erreichen, würde dies kein Auftraggeber hinnehmen. Bei der Heizung ist das Ziel von zumindest 20°C aber unumstritten bzw. klar definiert und die Zielerreichung auch einfacher zu kontrollieren und elementarer spürbar.

Empfehlungen: Die klare Definition der zu erreichenden Luftqualität bzw. CO₂-Werte bei der Ausschreibung bzw. Auftragsvergabe und deren Kontrolle sind sicherzustellen. Für eine hohe Akzeptanz durch die Nutzer ist eine deutliche Luftverbesserung gegenüber einem fenstergelüfteten Klassenzimmer bzw. Werte unter 1.200 ppm CO₂ notwendig.

Qualitätskriterium 2 (M)	Anforderung																					
<p>Mindestluftmengen pro Schüler für die Auslegung (ergeben sich aus der max. CO₂-Anforderung von Kriterium 1)</p> <p>Es ist zulässig, diese Werte im Betrieb zur Feuchteregelung zu unterschreiten.</p>	<p>Altersabhängige Rate:</p> <table> <tr> <td></td> <td>für ca. 1.200 [ppm]</td> <td>für Zielwert ca. 1.000 [ppm]</td> </tr> <tr> <td>0–6</td> <td>19 [m³/h]</td> <td>25 [m³/h] (z.B. Kindergarten)</td> </tr> <tr> <td>6–10</td> <td>19 [m³/h]</td> <td>25 [m³/h] (z.B. Volksschule)</td> </tr> <tr> <td>10–14</td> <td>23 [m³/h]</td> <td>30 [m³/h] (z.B. Hauptschule)</td> </tr> <tr> <td>14–19</td> <td>24 [m³/h]</td> <td>33 [m³/h] (z.B. AHS, BHS)</td> </tr> <tr> <td>über 19</td> <td>25 [m³/h]</td> <td>34 [m³/h] (z.B. FH, UNI,..)</td> </tr> <tr> <td>Lehrperson</td> <td>28 [m³/h]</td> <td>37 [m³/h]</td> </tr> </table>		für ca. 1.200 [ppm]	für Zielwert ca. 1.000 [ppm]	0–6	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Kindergarten)	6–10	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Volksschule)	10–14	23 [m ³ /h]	30 [m ³ /h] (z.B. Hauptschule)	14–19	24 [m ³ /h]	33 [m ³ /h] (z.B. AHS, BHS)	über 19	25 [m ³ /h]	34 [m ³ /h] (z.B. FH, UNI,..)	Lehrperson	28 [m ³ /h]	37 [m ³ /h]
	für ca. 1.200 [ppm]	für Zielwert ca. 1.000 [ppm]																				
0–6	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Kindergarten)																				
6–10	19 [m ³ /h]	25 [m ³ /h] (z.B. Volksschule)																				
10–14	23 [m ³ /h]	30 [m ³ /h] (z.B. Hauptschule)																				
14–19	24 [m ³ /h]	33 [m ³ /h] (z.B. AHS, BHS)																				
über 19	25 [m ³ /h]	34 [m ³ /h] (z.B. FH, UNI,..)																				
Lehrperson	28 [m ³ /h]	37 [m ³ /h]																				

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die geplanten Luftmengen variieren sehr stark. Sie reichen von ca. 10 m³/h bis 50 m³/h und Person. Wobei die 50 m³/h und Person bei einer Anlage ermittelt wurden, die nicht in der eigentlichen Evaluierung der 16 Schulen vertreten war. Mit dieser Anlage werden durchgehend CO₂-Werte von ca. 800 ppm erreicht und auch die subjektive Wahrnehmung der Nutzer entspricht der hohen Luftqualität. Probleme mit niedrigen Luftfeuchten wurden trotz der hohen Luftmengen (ohne Feuchterückgewinnung bzw. ohne Befeuchtung) nicht wahrgenommen.

Luftmenge pro Schüler	max. CO ₂ -Werte
12	2990
15	2800
17	2300
20	1700
17	1600
26	1450
21	1270

Tabelle 9.15: Luftmenge pro SchülerIn und CO₂-Werte

Die ermittelten Luftmengen pro Schüler für die Hauptschulen und die dazugehörigen CO₂-Werte passen im Schnitt mit den theoretischen Werten zusammen. Bei den Luftmengen sind aber teils größere Unsicherheiten enthalten.

Die tatsächlichen Luftmengen mehrerer Anlagen liegen oft deutlich unter den geplanten, da aufgrund von Schallproblemen die Luftmengen teilweise soweit reduziert wurden, bis die Schallsituation akzeptiert wurde. Aus Gesprächen mit den Planern ergab sich mehrheitlich auch eine Unsicherheit über die Luftmengen und sehr unterschiedliche Bezugspunkte. Die alte Vorgabe der SIA 382/1 mit 15 m³/h die inzwischen auf 25 bzw. 30 m³/h erhöht wurde, wurde aber sehr oft als Ausgangspunkt genannt. Die Luftmengenwahl pro Person war aufgrund der fehlenden Vorgaben für die Luftqualität dem freien Ermessen des Planers überlassen und führte zu sehr unterschiedlichen Auslegungen.

Empfehlungen: Die schon geforderte eindeutige Definition der zu erreichenden Luftqualität bzw. CO₂-Werte bei der Anlagenausschreibung würde Klarheit für die Berechnungsbasis der PlanerInnen bringen. Die angeführten Berechnungsmethoden für die Luftmengen in der EN 13779:2008 bzw. in der neuen ÖNORM H 6039:2008 sind zwar eindeutig, haben aber noch immer einige größere, nicht einrechenbare Unsicherheiten, wie z.B. den Aktivitätsgrad der Schüler und die Lüftungseffektivität, sodass damit keine 100%ige Sicherheit über die Einhaltung eines geforderten CO₂-Wertes gegeben ist. Insbesondere die Lüftungseffektivität wird von diesen Berechnungsmethoden nicht wirklich erfasst. Die Bereitstellung eines einfachen, möglichst kostengünstigen EDV-Programms, welches entsprechend validiert wurde, würde die Planungssicherheit deutlich erhöhen und das Risiko der Zielverfehlung senken. Bis zur Verfügbarkeit eines derartigen Programms kann mit den Normberechnungen aber eine zufriedenstellende Abschätzung vorgenommen werden.

Qualitätskriterium 3 (M)	Anforderung
Ausreichende Luftfeuchte auch im Winter, bzw. bei sehr niedrigen Außentemperaturen	<p>Anzustrebender Bereich: 30 bis 60 % r.F.</p> <p>Es ist sicherzustellen, dass auch bei sehr kalten Außentemperaturen folgende rel. Luftfeuchtigkeiten nicht unterschritten werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Von 0°C bis -10°C Tagesmitteltemperatur dürfen die 30 % r.F. pro °C unter Null °C um 1 % unterschritten werden. • Unter 20 % soll die relative Feuchte nicht abfallen.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die gemessenen Luftfeuchten in den Klassenzimmern lagen alle über 20 %, d.h. im noch behaglichen Bereich. Die Temperaturen im Außenbereich waren zum Messzeitpunkt durch den milden Winter 2006/2007 aber sehr gemäßigt, sodass diesbezüglich keine wirkliche Aussage möglich ist. Zudem erreichte nur ein Teil der Anlagen die gewünschten CO₂-Werte, d.h. sie wurden mit reduzierten Luftmengen betrieben.

Tabelle 9.16: Luftfeuchten und Temperaturen

Nr.	% r.F. min	% r.F. max	T	Außen	% r.F. Außen
1	60	63	23		49
2	45	54	16		59
3	43	50	22		39
4	38	41	23		36
5	36	43	5		82
6	35	45	2		90
7	35	45	5		78
8	30	40	8		65
9	28	38	0		82
10	27	45	2,5		75
11	27	36	3		84
12	25	40	6		80
13	25	30	0,5		90
14	23	37	-1		56
15	22	34	8		70
16	20	47,5	10		64

Grobe Bewertung:

sehr gut	> 30% r.F.	< 45 % r.F.
gut	< 30 % r.F.	< 50 % r.F.
befried.	< 25% r.F.	< 55% r.F.
ungenügend	< 20% r.F.	> 55 % r.F.

Hinweis: Anlage 10 mit aktiver Befeuchtung

6 Anlagen lagen im Zielbereich von 30 bis 60 %, eine Anlage über 60 % und 8 Anlagen unter 30 %. Der ursächliche Zusammenhang von Außentemperatur und Luftfeuchte ist aber deutlich ersichtlich. Eine Anlage wurde mit Befeuchtung realisiert. Näheres dazu siehe Kriterium 44.

Empfehlungen: Die sich im Winter konkurrenzierenden Forderungen nach niedrigen CO₂-Werten und Luftfeuchtigkeiten über 30 % kann durch eine Feuchterückgewinnung entschärft werden. Grundsätzlich sollte bei einer Klassenzimmerlüftung immer eine Feuchterückgewinnung angestrebt werden, wobei die Feuchterückgewinnung genauso wie die Wärmerückgewinnung in der Übergangszeit/Sommerzeit nicht erwünscht ist. Es muss daher bei Betrieb in der Übergangszeit bzw. im Sommer gewährleistet sein, dass die Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung geregelt, bzw. außer Kraft gesetzt werden kann. Muss aus besonderen Gründen eine Mindestfeuchte immer gewährleistet werden (z.B. Musikinstrumente) ist diese letztendlich aber nur durch eine hygienisch-kritische aktive Befeuchtung mit der Lüftungsanlage oder im Klassenzimmer möglich. Ein einfaches, kostenloses EDV-Programm zur Ermittlung wie viele Stunden eine Zielwertunterschreitung der Feuchte bei typischen klimatischen Verhältnissen zu erwarten sind wäre wünschenswert.

Qualitätskriterium 4 (M)	Anforderung
<p>Geringer A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{A,eq}$ und Beschränkung des tieffrequenten Anteiles im Klassenzimmer sowie geringe Schallbelastung im Außenbereich</p> <p>*Achtung: Werte liegen über der B 8115-2 und bedürfen bei zentralen Anlagen einer besonderen vertraglichen Fixierung.</p>	<p>a) Im Klassenzimmer: max. 25 [dB(A)] bei sehr hohen Anforderungen (z.B. Musikräume) max. 30* [dB(A)] bei hohen Anforderungen (gute Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Klassenräume) max. 35* [dB(A)] bei mittleren Anforderungen (nur bedingte Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Werkräume) max. 30* [dB(A)] für Lehrerzimmer</p>
	<p>b) Zur Beschränkung der tieffrequenten Anteile darf die Differenz zwischen A- und C-Bewertung nicht mehr als 20 [dB] betragen.</p>
	<p>c) Beschränkung der Schallbelastungen im Außenbereich gemäß ÖNORM S 5021 bzw. ÖAL Richtlinie 3</p>

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Schallbelastung stellte, wie erwartet, einen wesentlichen Aspekt bei der Nutzerzufriedenheit dar. Einige Anlagen werden aufgrund von Schallproblemen dauerhaft mit reduzierten Luftmengen betrieben bzw. wurden die Anlagen zur Schallreduktion nachgerüstet oder umgebaut. Die gemessenen Schallwerte liegen durchwegs in der Bandbreite der EN 13779:2008 von 35 bis 45 dB(A), wobei diese Werte nicht besonders ambitioniert sind. Nur eine Anlage erfüllt den in der B 8115-2 angegebenen Wert von 25 dB(A). Zwischen zentralen und dezentralen Anlagen ergab sich bezüglich der Schallwerte keine generelle Tendenz. Sowohl der niedrigste als auch der höchste Wert betrafen dezentrale Anlagen.

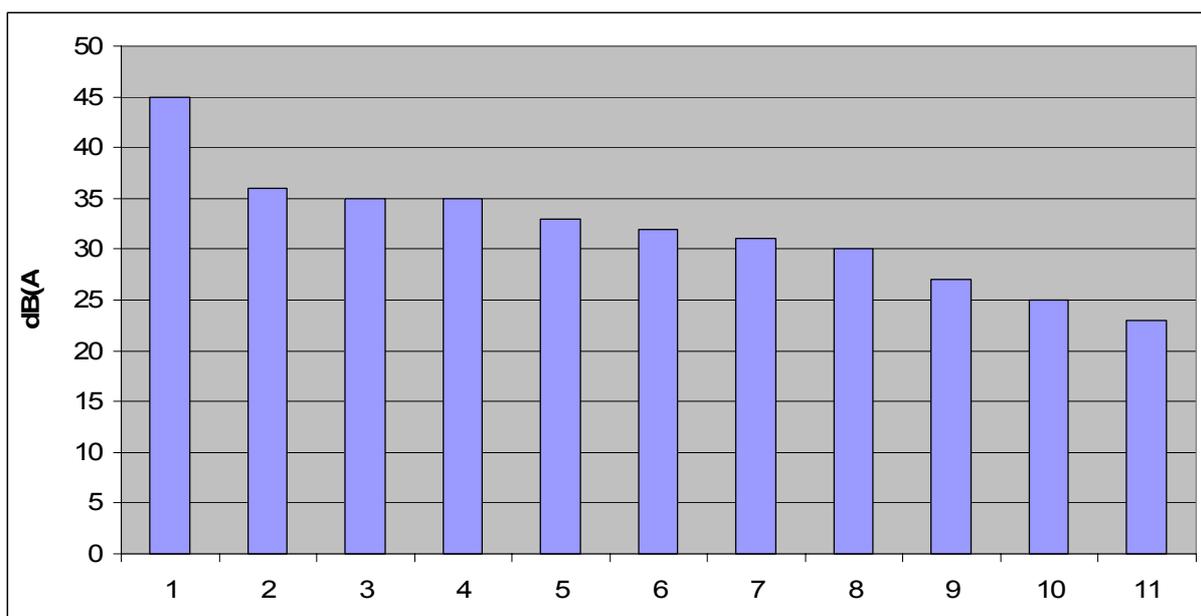


Abbildung 9.22: Geordnete Schallwerte dB(A)

Insbesondere bei den Anlagen über 30 dB(A) wurde von den NutzerInnen auch entsprechend oft die Schallbelastung als störend angeführt. Es werden teilweise aber auch sehr leise Anlagen in Prüfungssituationen als störend empfunden.

Empfehlungen: Wie bei den Luftmengen ist aufgrund der unterschiedlichen Normen eine eindeutige Festlegung der zulässigen Schallwerte unbedingt notwendig. Zudem muss auch sichergestellt werden, dass die Schallwerte auch bei der geforderten Luftmenge und nicht nur bei einer reduzierten Luftmenge erreicht wird.

Qualitätskriterium 5 (M)	Anforderung
Temperatur beim Einströmventil auf Behaglichkeitsniveau	a) Minimale Zulufttemperatur: max. 3°C unter der Raumtemperatur und mindestens 19°C
	b) Maximale Zulufttemperatur bei Nacherwärmung: Raumtemperatur

Erfahrungen aus der Evaluierung: Beide Aspekte dieses Kriteriums konnten aufgrund der milden Temperaturen im Winter 2006/2007 nicht hinreichend verifiziert werden. Die minimale Lufttemperatur sollte bei den Anlagen aufgrund der Frostfreiheit bzw. der Nacherwärmung normalerweise kein Problem darstellen. Die Einhaltung der oberen Grenze stellt auch eine lösbare Aufgabe dar.

Qualitätskriterium 6 (M)	Anforderung
Geringes Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich	Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich von max. 15 % nach EN ISO 7730, bzw. 0,13 m/s bei 20°C Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich nach ÖNORM EN 13779 Zielwert: max. 10 % nach EN ISO 7730, bzw. max. 0,10 m/s bei 20°C Raumtemperatur

Erfahrungen aus der Evaluierung: Zugluft in einzelnen Bereichen stellte bei drei Anlagen ein Problem dar. Bereits die gemessene Luftgeschwindigkeit von 0,16 m/s kann im Gesichtsbereich als störend empfunden werden. Bei diesen 3 Anlagen wurde die Luft über Weitwurfdüsen in die Räume eingebracht. Bei keinem der Quellsysteme wurde über Zugluft geklagt.

Bei einer der Anlagen waren die Weitwurfdüsen in zu engem Abstand zueinander angebracht, wodurch eine zu geringe Induktion mit der Raumluft stattfand. Durch Auffächerung der beweglichen Kugeldüsen und visueller Kontrolle mittels Rauch konnte die Situation jedoch verbessert werden.



Abbildung 9.23: Düsensabstände etwas zu gering – Abhilfe „Auffächerung“ der Strahlen

Bei einer anderen Anlage waren die Weitwurfdüsen zu groß dimensioniert, sodass die Austrittsgeschwindigkeit der Luft zu gering war, um eine an den Klassenraum angepasste Eindringtiefe und zuverlässige Vermischung zu erreichen.



Abbildung 9.24: Überdimensionierung der Kugeldüsen (DM 150, Austrittsgeschw. 3,5 und 3,9 m/s)

Empfehlungen: Insbesondere bei Weitwurfdüsen ist zu beachten, dass bei unterschiedlichen Luftmengen einer bedarfsorientierten Lüftung die Weitwurffunktion sich entsprechend ändert. Es ist zu beachten, dass bei Weitwurfdüsen auch zu geringe Geschwindigkeiten, vor allem in Kombination mit zu geringen Temperaturen zu Problemen führen können.

Qualitätskriterium 16 (M)	Anforderung
Unbelastete, schneefreie und vandalensichere Außenluft-Ansaugung	a) Ausreichender Abstand von Parkplätzen, Mülllagern, Abgasfängen, etc. (zumindest 8 m lt. DIN EN 13779)
	b) Schneefreie, vandalensichere Ansauganlage bzw. Ansaughöhe, mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Umsetzung dieser Forderung reichte von mehr als Ausreichend bis mangelhaft. Hier einige Beispiele. Die Mehrzahl aber entsprach dem Kriterium.

Positive Beispiele:



Abbildung 9.25: Ein früheres Fenster wurde bei dieser Sanierung zur Ansaugung der zentralen Anlage umfunktioniert



Abbildung 9.26: Eine sehr großzügig ausgeführte Ansaugung einer zentralen Lüftungsanlage mit Erdwärmetauscher



Abbildung 9.27: Ansaugung einer dezentralen Anlage



Abbildung 9.28: Ansaugung über Gitter in der Drenpelwand des Spitzbodens

Nicht optimale bzw. noch nicht fertig gestellte Ansaugungen:



Abbildung 9.29: Zu geringe Ansaughöhe



Abbildung 9.30: Unvollendete Ansaugung



Abbildung 9.31 a und b: Ansaugsituation durch Kellerschacht: li Blick in den Schacht, re. Außenansicht: Gefahr der Ansaugung von bodennahen Gasen (z.B. Radon). Schneefreiheit durch Fassaden-
nähe und Schachtgitter gegeben

Qualitätskriterium 17 (M)	Anforderung	
Kein Luftkurzschluss zwischen Außenluftansaugung und Fortluftauslass	<p>Dezentral: Abstand in derselben Wand mindestens 2 Meter oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779.</p> <p>Zielwert: 3 m und Ansaugung unterhalb der Fortluft; bei Eckräumen andere Fassadenseite</p>	<p>Zentral: Horizontaler Abstand zueinander mindestens 3 Meter oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779.</p> <p>Zielwert: Ansaugung über Gebäudeseite und Fortluftführung über Dach</p>

Erfahrungen aus der Evaluierung: Dieser Punkt stellte nur für dezentrale Anlagen bei einer konsequenten Umsetzung eine Schwierigkeit bzw. Mehrkosten dar. Eine kombinierte Außenluftansaugung und Fortluftführung bedingt, stark abhängig von der Wettersituation, teilweise Kurzschlussströmungen, welche die Lüftungseffektivität reduzieren. Diese konnten bei der Kurzzeitanalyse natürlich nicht quantifiziert werden.

Beispiel, welches die Kriterien nicht ganz erfüllt:



Abbildung 9.32: Außenluftansaugung und Fortluftauslass sind weniger als 2 m voneinander getrennt

Bei einer nicht in der Evaluierung enthaltenen Schule, die jedoch von der FH Kärnten (Dr. Heiduk) untersucht wurde, ergaben sich deutliche Kurzschlussströmungen, die durch einen Umbau der Fortluft bzw. Außenluftansaugung gelöst wurden.



Abbildung 9.33: „Kurzschluss“ zwischen Ab- und Zuluft beim Kaltrauchtest (Quelle: Heiduk, 2008)

Abbildung 9.34: Änderungen der Abluftrohre um „Kurzschluss“ zu verhindern (Quelle: Heiduk, 2008)

Beispiele für noch akzeptable Kompromisse bei dezentralen Anlagen:



Abbildung 9.35 a–c: Speziell ausgeführte Außenluftansaugung/Fortluftauslass

Empfehlungen: Die Größenordnung und der tatsächliche Einfluss auf die gesamthafte Lüftungseffektivität der verschiedenen Lösungen sind nach wie vor umstritten. Dauermessungen bei mehreren Objekten über den mittleren CO₂-Wert der Zuluft könnten diese Frage hinreichend klären. Grundsätzlich bedeutet ein Kurzschluss immer, dass die Gesamtluftmenge um den Kurzschlussstrom erhöht werden muss, um die gewünschte Luftqualität zu erreichen. Die Auswirkungen auf die Stromeffizienz, Schallbelastung, etc. müssen in die Anlagenplanung aufgenommen werden.

Qualitätskriterium 18 (M)	Anforderung	
<p>Außenluftansaugung mit geringem Druckverlust, Schutz vor Regen, Schnee und direkter Sonnenbestrahlung, Kleintieren bzw. entsprechender Filterung bei Anlagen mit EWT</p> <p>Info: Unten quer stehend und oben liegend (hygienisch nicht erwünscht) angeordnete Taschenfilter</p> 	a) Wirksamer Schutz vor Regen und Schnee sowie direkter Sonnenstrahlung	
	b) Ansaugung mit Vogelschutzgitter	
	<p>c) Dezentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 10 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom. (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]</p>	<p>c) Zentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom. (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]</p>
	c) Filter vor einem EWT zumindest F5 nach EN 779	
	<p>d) Dezentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 20 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 60 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]</p>	<p>d) Zentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 40 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 120 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]</p>
	e) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)	
	f) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich	
	g) Einfache Zugänglichkeit bzw. Reinigung des Gitters bzw. einfacher Filtertausch durch die Hausbetreuung.	
h) Schutz des Filters vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90 % relative Feuchte, bzw. mittlere relative Feuchte unter 80 % an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht ca. einer Temperaturerhöhung von 2°C bis zum Filter.		

Erfahrungen aus der Evaluierung: Insbesondere bei zentralen Anlagen konnte der Druckverlust aufgrund der zu geringen Fläche und den damit verbundenen hohen Luftgeschwindigkeiten nicht eingehalten werden. Vereinzelt entsprach der freie Gitterquerschnitt nicht einmal dem Kanalquerschnitt.



Abbildung 9.36: Außenluftansaugung mit freiem Querschnitt nur in der Größenordnung des Kanalquerschnittes

Der normgerechte Durchfeuchtungsschutz des Filters vor dem EWT ist nicht immer leicht zu bewerkstelligen. Im nächsten Beispiel wurde die Durchfeuchtungsproblematik des Filters durch den Einbau am Beginn des EWT, der parallel zu einem Verbindungsgang verläuft und vom Gang aus zugänglich ist, gut gelöst.



Abbildung 9.37: Großzügig dimensionierter, vor Durchfeuchtung geschützter Filter (F6) vor dem gemauerten (begehbaren) EWT entlang eines unterirdischen Verbindungsganges zwischen zwei Gebäuden

Erfahrungen aus der Evaluierung: Der Schutz des Filters vor Durchfeuchtung vor einem Luft-EWT lässt sich nur in Ausnahmefällen so einfach wie beim beschriebenen Beispiel lösen. Bei einem Sole-EWT kann der Filter im Gebäude angebracht werden und damit die notwendige Temperaturerhöhung erreicht werden. Auch aus diesem Aspekt ist eine Sole-EWT einem Luft-EWT vorzuziehen. Geringere Druckverluste durch größere Außenluftansaugungen und deren höhere Kosten sollten mit den Folgekosten (höherer Strombedarf) gegengerechnet werden.

Qualitätskriterium 19 (M)	Anforderung	
Fortluftauslass mit geringem Druckverlust, Schutz vor Kleintieren	a) Dezentral: Druckverlust max. 5 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblasquerschnitt max. 1,5 m/s) Zielwert: max. 5 [Pa]	a) Zentral: Druckverlust max. 20 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblasquerschnitt max. 2 m/s) Zielwert: max. 10 [Pa]
	b) Mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe	

und

Qualitätskriterium 20 (M)	Anforderung	
Keine Feuchteschäden an Außenbauteilen durch die feuchte Fortluft der Lüftungsanlage	Dezentral: Die Fortluftführung ist derart ins Freie zu führen, dass die feuchte Fortluft nicht in die Fassade eindringen kann (z.B. in die Hinterlüftung) bzw. es zu keinem Stau (z.B. im Vordachbereich) kommt.	Zentral: Bei zentralen Anlagen ist die Fortluft immer über das Dach zu führen oder ein Mindestabstand von 5 m zum Gebäude einzuhalten. Die Anforderungen der Fortluftführung mit 5 m/s nach ÖNORM EN 13779 über die Wand widerspricht Kriterium 18.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Hier konnte, wie bei den Ansaugungen, insbesondere bei zentralen Anlagen aufgrund der zu geringen Fläche und den damit verbundenen hohen Luftgeschwindigkeiten der Druckverlust oft nicht eingehalten werden. Die grundsätzliche Anforderung der 13779:2008 die Fortluft über das Dach zu führen bzw. diese mit entsprechender Geschwindigkeit vom Gebäude fernzuhalten wurde beim folgenden Beispiel der Fortluft aus Kostengründen nicht ausgeführt. Es traten mit dieser Lösung der Fortluftführung durch den Kellerschacht bisher aber auch keine Probleme auf.



Abbildung 9.38: Fortluft über einen Kellerschacht



Abbildung 9.39: Fortluftführung über Dach

Qualitätskriterium 23 (M)	Anforderung
Ausreichende Sicherheitseinrichtungen	a) Gerät muss der RLT-Richtlinie Nr. 3 „EG-Konformitätsbewertung“ entsprechen
	b) Lüftungsgerät schaltet bei zu hohen Druckverlusten auf Störung
	c) Gegenseitige Verriegelung der Ventilatoren (kein reiner Zu- oder Abluftbetrieb möglich)

Erfahrungen aus der Evaluierung: Insbesondere zu den Punkten b) und c) konnte normalerweise weder der Gebäudeverantwortliche noch der Planer konkrete Angaben machen. Daraus lässt sich schließen, dass diesem Aspekt bisher keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Die Sicherheitseinrichtungen sind bei größeren Anlagen Teil der Regelungsstrategie und damit auch in der Verantwortung der Regelungstechnikfirma. Bei dezentralen Geräten wird normalerweise die Regelungstechnik direkt vom Hersteller des Lüftungsgerätes geliefert.

Qualitätskriterium 28 (M)	Anforderung
Geringe Stromaufnahme des Ventilators bzw. der gesamten Anlage beim Betriebsluftvolumenstrom und reinen Filtern	Spezifische Leistungsaufnahme des einzelnen Ventilators entsprechend der Kategorie SFP 1 nach ÖNORM EN 13779. Dies entspricht max. 0,22 [W/(m³/h)] bei einer geforderten Wärmerückgewinnung der Klasse H1 bzw. H2. (Zur Info: 0,14 [W/(m³/h)] bei Wärmerückgewinnungsklasse H3 und geringer)
	Spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,35 [W/(m³/h)] Zielwert: max. 0,21 [W/(m³/h)]

Erfahrungen aus der Evaluierung: Der Strombedarf der einzelnen Anlagen ist aufgrund der verwendeten Anlagentechnik bzw. der teilweise sehr hohen Druckverluste bei den zentralen Anlagen teils deutlich über den mittlerweile gültigen Anforderung der OIB Richtlinie 6 von SFP 1 nach EN 13779. Von Seiten der Stromeffizienz sind bei den ausgeführten Anlagen die dezentralen Lösungen deutlich im Vorteil. Nur eine dezentrale Anlage aus dem Jahre 1999 mit mittlerweile veralteter Motorentechnologie hatte ebenfalls SFP 4. Aber auch eine zentrale Anlage erreichte SFP 1 und zeigt, dass eine hohe Stromeffizienz auch bei zentralen Anlagen möglich ist. Den Zielwert von 0,21 W/(m³/h) für die elektrische Gesamteffizienz erreichte nur eine Anlagen. Den Wert von 0,35 W/(m³/h) für die gesamte Stromeffizienz erreichten 5 Anlagen. Bei drei Anlagen konnte der Strombedarf nicht gemessen werden. Für die folgende Auswertung wurden der Strombedarf für Zu- und Abluftventilator, die im Normalfall unterschiedlich sind, gemittelt und der Zuschlag für die Wärmerückgewinnungsklasse 1 bzw. 2 berücksichtigt.

Tabelle 9.17: Spezifische Stromverbräuche und SFP Einordnung nach EN 13779:2008 mit Berücksichtigung der Wärmerückgewinnungsklasse 1 bzw. 2

Strombedarf ges. W/m³/h	Strombedarf pro Ventilator W/m³/h	SFP pro Ventilator	Zentral oder Dezentral
0,2	0,1	SFP 1	D
0,24	0,12	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,4	0,2	SFP 1	Z
0,55	0,275	SFP 2	D
0,52	0,26	SFP 2	Z
0,56	0,28	SFP 2	Z
0,74	0,37	SFP 3	Z
0,87	0,435	SFP 4	Z
0,88	0,44	SFP 4	D
1,16	0,58	SFP 4	Z

Der Strombedarf für einen konventionellen Rotorantrieb eines Rotationswärmetauschers betrug ca. 1,5 % der Stromaufnahme der Ventilatoren der Klasse SFP 3. Auch bei den Rotoren könnte durch den Einsatz von EC-Motoren der Strombedarf deutlich gesenkt werden.

Empfehlungen: Der Strombedarf der Ventilatoren ist einer der wesentlichen Betriebskosten. Mit der Umsetzung der OIB Richtlinie 6 sind energiesparende Auslegungen in Zukunft gesetzlich vorgeschrieben. Wichtig ist es diesen Bereich auch entsprechend zu kontrollieren.

Qualitätskriterium 31 (M)	Anforderung	
<p>Ausreichende Filterqualität mit geringem Druckverlust für die Außenluft; Einfacher Filtertausch</p>	<p>a) Zumindest F7 nach EN 779 bei ODA1 bzw. F6 + F7 bei ODA2 Bei nur einer Filterstufe sollte der Filter nach dem Ventilator angebracht sein. Zielwert: F6 + F8 bei ODA 1 und 2</p>	
	<p>b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter oder Kassettenfilter</p>	<p>b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter</p>
	<p>c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)</p>	
	<p>d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich</p>	
	<p>e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung einfach durchgeführt werden können. Max. 2.000 Betriebsstunden für die 1. Filterstufe bzw. max. 1 Jahr; 2. Filterstufe max. 4.000 Betriebsstunden bzw. max. 2 Jahre lt. EN 13779</p>	
	<p>f) Schutz vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90 % relative Feuchte bzw. mittlere relative Feuchte unter 80 % an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht einer Temperaturerhöhung von ca. 2°C bis zum Filter.</p>	
	<p>g) Maximaler Druckverlust 20 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 Pa Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]</p>	<p>g) Maximaler Druckverlust 40 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 120 Pa Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]</p>

Erfahrungen aus der Evaluierung: Bei den zentralen Anlagen größtenteils F6 oder F7 Taschenfilter eingebaut. Teilweise waren diese jedoch liegend und nicht wie gefordert stehend eingebaut. Der Filterwechsel kann und wird durchwegs ohne Probleme durch die Hausbetreuung bzw. durch externe Techniker durchgeführt.

Zentral	Filter Zul	Art
Z	G4	Taschen
Z	G4	Taschen
Z	F6	Kassette
Z	F7	Kassette
Z	F7	Taschen

Tabelle 9.18: Verwendete Filterqualität und Art der zentralen Anlagen



Abbildung 9.40: Stehende (jeweils unten) und liegende Taschenfilter (jeweils oben)



Abbildung 9.41: Kassettenfilter F7 einer zentralen Anlage



Abbildung 9.42: Quer Stehende Taschenfilter einer zentralen Anlage

Dezentral	Filter Zul	Art
D	G3	Matte
D	G3	Matte
D	G4	Matte
D	G4	Taschen
D	F6	Matte
D	F7	Kassette
D	F7	Kassette

Tabelle 9.19: Verwendete Filterqualität und Art der dezentralen Anlagen

Bei dezentralen Anlagen waren in den Geräten meist einfache Filtermatten (G3 bis F6) eingebaut. Eine Anlage verfügte über einen Taschenfilter, allerdings nur der Qualität G4 und zwei Anlagen waren mit Kassettenfilter (F7) ausgerüstet. D.h. bei mehr als 50 % der Anlagen wurde die in den verschiedenen Normen zumindest geforderte Qualität von F6 nicht erreicht. Bei einer Anlage gestaltet sich der Filtertausch durch den Verbau äußerst aufwändig.



Abbildung 9.43: Einfache Filtermatte (G4) einer dezentralen Anlage



Abbildung 9.44: Kassettenfilter (F7) einer dezentralen Anlage

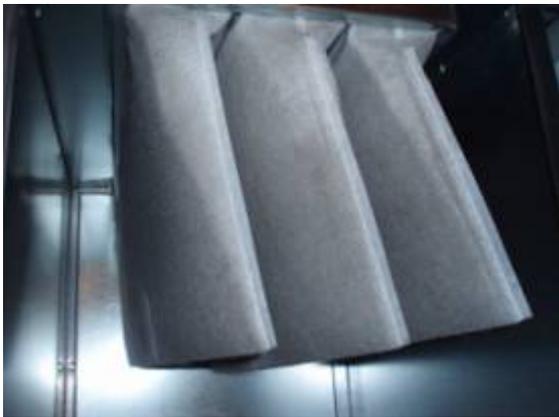


Abbildung 9.45: Taschenfilter (G4) in einer dezentrale Anlage

Der Verschmutzungsgrad war bei fast allen Anlagen mäßig, d.h. die Filter wurden in ausreichendem Maße getauscht bzw. waren die Anlagen noch nicht so lange in Betrieb.

Empfehlungen: Die Filterkosten stellen einen nicht unwesentlichen Teil der laufenden Kosten dar. Die Filterkosten (Standzeit, Kosten pro Filter, Zeit für das Tauschen, Entsorgung) sind daher frühzeitig in die gesamte Kostenkalkulation aufzunehmen. Der einfachen Zugänglichkeit ist vor allem bei verbauten, dezentralen Anlagen eine erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Bei dezentralen Anlagen ist es ratsam, externe Filterkästen mit Standard-Taschenfiltern einzusetzen, die eine längere Standzeit aufweisen und meist auch geringere jährliche Kosten verursachen als die meist nur firmenspezifisch erhältlichen, knapp dimensionierten und zu groben Gerätefilter.

Qualitätskriterium 35 (M)	Anforderung	
Kondensatablauf beim Lüftungsgerät (bei Geräten mit Kondensatbildung)	Dezentral: Das Kondensat kann in einem entsprechenden Sammelbehälter aufgefangen werden (sichtbarer Füllstand), nach außen über die Fassade abgeführt oder mit geeignetem Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss (z.B. doppelter Siphon oder Trockensiphon) in den Kanal eingeleitet werden.	Zentral: Geeigneter Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss gegen den Kanal (z.B. doppelter Siphon)

Erfahrungen aus der Evaluierung: Bei zentralen Anlagen ist die Kondensatabfuhr meist auch professionell gelöst. Bei dezentralen Anlagen stellt die Kondensatabfuhr hingegen aufgrund des meist nicht verfügbaren Abflusstranges ein größeres Problem dar. Wobei aufgrund der geringen Luftfeuchten in den Klassen oft gar kein oder nur äußerst geringe Mengen Kondensat entstehen und manche Hersteller das Weglassen des Kondensatabflusses empfehlen bzw. ihre Klassenzimmergeräte ohne Kondensatablauf ausführen. Wird aber z.B. durch Pflanzen oder Luftbefeuchter die Raumluftfeuchte erhöht, könnte es bei diesen Ausführungen zu Problemen kommen. Rotationswärmetauscher kommen Prinzipbedingt ohne Kondensatanschluss aus.



Abbildung 9.46: Provisorische Lösung für das Kondensat (mit Leckströmung)

Qualitätskriterium 37 (M)	Anforderung	
Geeignete Regelungsstrategie der Lüftungsanlage für bedarfsgerechte Luftmengen	a) Automatisches Spülen der Klasse vor und nach dem Unterricht mit jeweils zumindest der einfachen Luftmenge des Raumes. Alternativ kann auch ein dauernder Luftvolumenstrom von 0,5 m ³ /h und m ² bzw. ein intermediärer Betrieb, der dieser Luftmenge entspricht, gewählt werden.	
	b) Dezentral: Minimalvariante: Anwesenheitssteuerung (z.B. Bewegungsmelder) (IDA – C4)	b) Zentral: Anwesenheitssteuerung zur individuellen Luftmengensteuerung (Auf/Zu) über jedes Klassenzimmer (IDA –C4) Nur in Ausnahmefällen reine Betriebszeitenregelung über eine Zeitschaltuhr; für gesamtes Gebäude oder Gebäudeteile (IDA – C3)
	c.) Optimierung: Bedarfsorientierte Luftmengenregelung mit CO ₂ - oder Mischgas- und Feuchtefühler für jede Klasse (IDA – C6)	
	d.) Dezentral: grüne Kontrollleuchte für Betrieb bzw. rote Kontrollleuchte für Störmeldung im Klassenzimmer	d.) Zentral: Störmeldung im Raum bzw. im leicht sichtbaren Bereich des Schulwartes bzw. der Verwaltung

Erfahrungen aus der Evaluierung: Das automatische Spülen der Klasse vor Unterrichtsbeginn war bei zentralen Anlagen fast immer gegeben. Bei dezentralen verfügten die Geräte entweder über keine Spülfunktion oder es wurde jede Stunde das Gerät für eine kurze Zeit eingeschaltet, sodass auch gewährleistet ist, dass der Unterricht mit frischer Luftqualität startet. Die Anlagen wurden vorwiegend mit einer reinen Zeitsteuerung betrieben. CO₂- bzw. Mischgasfühler wurden nur bei zentralen Geräten eingesetzt. Bei den dezentralen Geräten war die Störmeldung im Klassenzimmer die Regel; die Störmeldung im Raum des Schulwartes oder im Verwaltungsbereich bei zentralen Anlagen war aber die Ausnahme.

Zentral oder Dezentral	Regelung
Z	zentraler Mischgasfühler
Z	Mischgasfühler
Z	CO ₂ -Regelung
Z	CO ₂ -Regelung
D	Anwesenheit
D	Anwesenheit
D	Zeitsteuerung
Z	Zeitsteuerung
D	Zeitsteuerung

Tabelle 9.20: Eingesetzte Regelungsarten



Abbildung 9.47 a und b: Steuerungsgeräte für dezentrale Lüftungsgeräte



Abbildung 9.48 a und b: Visualisierungen für zentrale Lüftungsanlage



Abbildung 9.49 a und b: Automatische Luftmengenregelung über Mischgasfühler

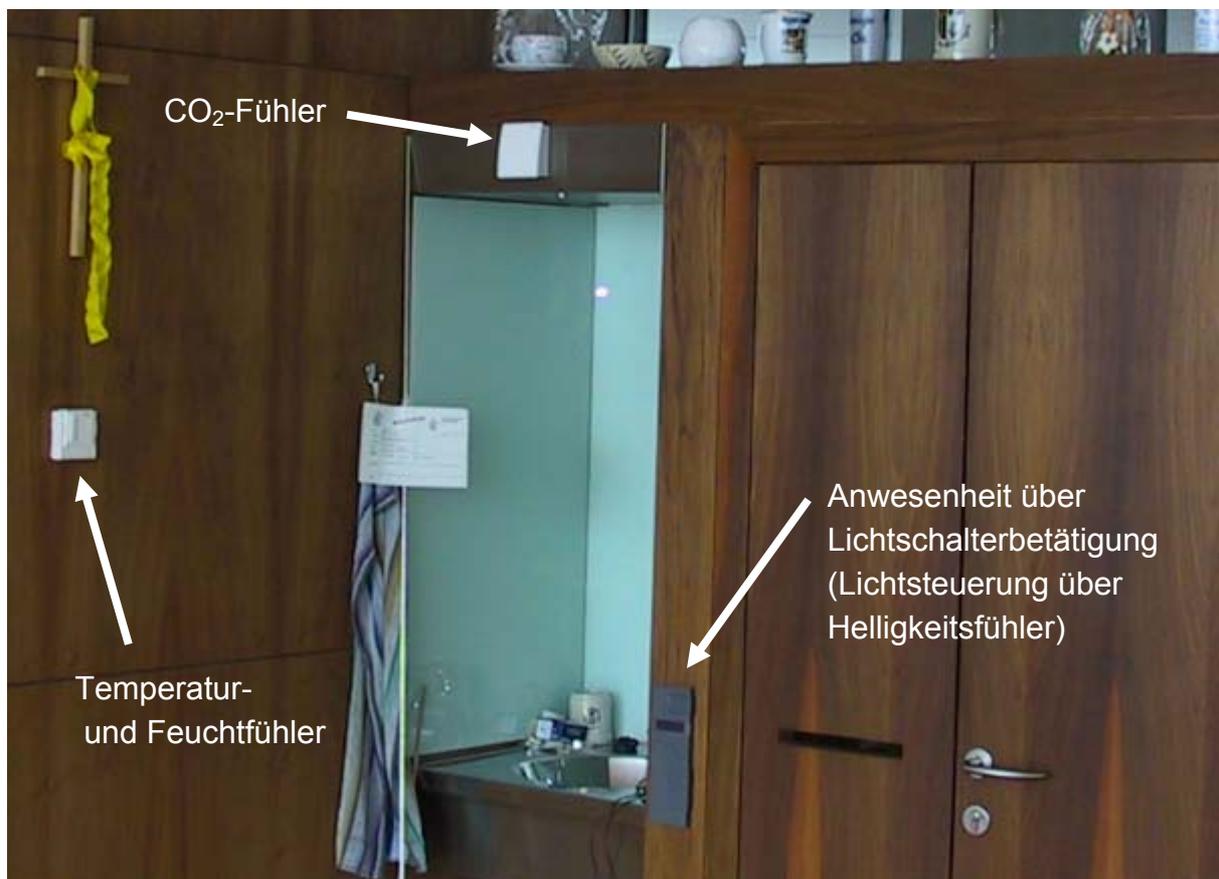


Abbildung 9.50: Anbringung der Fühler und Sensoren in einer Schule mit einer zentralen Lüftungsanlage. Anbringung des CO₂-Fühlers nicht optimal, da bei längerer Tätigkeit im Bereich der Spüle es eventuell zu Fehlsteuerungen kommen könnte.

Empfehlungen: Eine optimierte Luftmengenregelung wirkt sich sehr stark auf den Energiebedarf, die Feuchtesituation und die Nutzerakzeptanz aus. Einsparungen im Regelungsbereich haben deutliche Nachteile und Kosten im Anlagenbetrieb zur Folge. Es sollten daher die Einsparungen im Investitionsbereich immer den zusätzlichen Betriebskosten gegenübergestellt werden. Für die Behaglichkeit bzw. einen effizienten Betrieb sollte vor allem bei zentralen Anlagen möglichst die Zielvariante einer bedarfsorientierten Luftmengenregelung umgesetzt werden.

Qualitätskriterium 38 (M)	Anforderung
Lüftungsanlage liefert keinen Beitrag zur Überwärmung der Klassenräume	a) Lüftungsgerät muss über einen automatischen Bypass zur Umgehung des Wärmetauschers (oder gleichwertiges System, z.B. Rotationswärmetauscher) für 100 % des Volumenstromes verfügen.
	b) Bei einem EWT muss die Umschalttemperatur und bei Anlagen ohne EWT die untere und die obere Grenze der Umschaltung einstellbar sein.
	c) Bypass muss dicht schließen. Max. Leckage 4 [l/sm ₂] beim Prüfdruck von 500 [Pa] nach EN 1751

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die eleganteste Art der Umsetzung bieten Rotationswärmetauscher; dieser Möglichkeit bedienten sich fünf der acht zentralen Anlagen. Der Rest der zentralen Anlagen verfügt jedoch durchaus über eine Möglichkeit, die Wärmerückgewinnung zu umgehen. Über eine Umlenkung von 100 % des Volumenstromes verfügte auch die Anlage mit Massenspeicher, aber keine der zentralen Anlagen mit Plattenwärmetauschern. Bei den dezentralen Anlagen war kein Gerät mit Rotationswärmetauscher dabei. Auch die dezentralen Geräte verfügen durchwegs über eine automatische Umschaltung (nur ein Gerät mit manueller Sommerbox), wobei sie jedoch größtenteils ebenfalls nicht 100 % des Volumenstromes umlenken.

Empfehlungen: Die Überwärmung der Räume wird seitens der Nutzer sehr oft als Kritikpunkt genannt und fälschlicherweise sehr oft nur der Lüftungsanlage zugeordnet. Da häufig schon in der Übergangszeit, in der draußen oft noch moderate Temperaturen herrschen, über Überwärmungsprobleme geklagt wird, kann eine Umgehung der Wärmerückgewinnung jedoch schon einen deutlichen Beitrag zur Senkung der Überwärmungsproblematik leisten. Ist kein EWT vorhanden, muss bei Außentemperaturen, die höher als die Raumtemperatur sind, jedoch der Wärmetauscher wieder aktiviert werden, um die warme Außenluft mit der kühleren Raumluft abzukühlen.

Qualitätskriterium 39 (M)	Anforderung	
Eingriffsmöglichkeit im Klassenzimmer (Abschaltmöglichkeit)	a) Dezentral: Einfache Abschaltmöglichkeit mit automatischem Anlauf nach 45 Min.	a) Zentral: Einfache Abschaltmöglichkeit der einzelnen Klasse (z.B. Motorklappe) mit automatischer Zuschaltung nach 45 Min.
	b) Falls eine Eingriffsmöglichkeit durch die Nutzer besteht, sollte eine Erläuterung direkt neben der Bedieneinheit fix angebracht sein.	

Erfahrungen aus der Evaluierung: Bei den meisten dezentralen Anlagen bestand zwar die Möglichkeit diese abzuschalten, sie hatten aber keinen automatischen Anlauf bei Anwesenheit. Eine komplette Abstellmöglichkeit für die einzelne Klasse war bei keiner der zentralen Anlagen vorhanden. Auch nicht bei den Anlagen, die zur Luftmengenregelung ohnehin über eine Motorklappe verfügten.



Abbildung 9.51: 3-Stufenschalter ohne Abschaltmöglichkeit durch den Nutzer bei dezentraler Anlage

Empfehlungen: Die Möglichkeit der kompletten Abschaltung ist vor allem ein Zugeständnis an die Nutzerakzeptanz. Sie ist insbesondere bei dezentralen Anlagen leicht umzusetzen.

Qualitätskriterium 40 (E)	Anforderung		
<p>Leistungsgeregelter Frostschutz ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem)</p> <p>Nicht erforderlich, wenn ein EWT mit ausreichendem Temperaturhub vorhanden ist bzw. ein vereisungssicherer Wärmetauscher verwendet wird. (Auslegungstemperatur: Normaußentemperatur abzüglich 5°C Tagesgang z.B. $-16 - 5 = -21^{\circ}\text{C}$)</p>	a) Leistungsgeregelte Frostschutz auf max. -2°C Zielwert max. 2°C über dem individuellen Vereisungspunkt des Wärmetauschers		
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C		
	c) Wassergeführt: Frostschutzregister gefüllt mit unbedenklichem Frostschutz auf -25°C oder sonstige Frostschutzmaßnahmen		
	d) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z.B. Permanentmagnetmotorpumpe)		
	e) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Frostschutzfunktion		
	f) Dezentral: Wenn elektrisch: leistungsgeregeltes Frostschutzregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	f) Zentral: kein elektrischer Frostschutz	
	g) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	g) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]	

und

Qualitätskriterium 41 (E)	Anforderung		
<p>Leistungsgeregelte Nacherwärmung ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem)</p> <p>Nicht erforderlich, wenn durch einen EWT mit ausreichendem Temperaturhub oder eine andere Vorwärmung als Vereisungsschutz und einer hochwertigen Wärmerückgewinnung die minimale Einströmtemperatur beim Ventil von 19°C erreicht wird.</p>	a) Leistungsgeregelte Nacherwärmung auf max. 20°C		
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C		
	c) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z.B. Permanentmagnetmotorpumpe)		
	d) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Frostschutzfunktion		
	e) Elektrisch: leistungsgeregeltes Heizregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	e) Zentral: Keine elektrische Nacherwärmung	
	f) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	f) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]	

Erfahrungen aus der Evaluierung: Bei den dezentralen Geräten mit elektrischer Vorwärmung war die Vorwärmung durchwegs mit der geforderten Leistungsregelung versehen. Keines der dezentralen Geräte hatte eine Nacherwärmung. Bei den zentralen Geräten mit wassergeführten Systemen erfolgte die Leistungsregelung größtenteils über die Vorlauftemperatur und nicht über den Durchfluss. Über eine Hocheffizienzpumpe verfügte keine der wassergeführten Anlagen. Die max. Vorlauftemperatur von 45°C konnte aufgrund der milden Außentemperaturen nicht verifiziert werden. Um einen eigenen Glykolkreislauf zu vermeiden wurde teilweise eine Schaltung gewählt, die sicherstellte, dass die Lüftungsanlage abschaltet, wenn der Wasserkreislauf nicht aktiviert ist und eine Mindestaußenlufttemperatur unterschritten wird. Bei einer Anlage war die Zirkulationspumpe für die Nacherwärmung nicht an die Lüftungssteuerung angebunden. Daher wurde das Nachheizregister trotz abgeschalteter Lüftungsanlage dauernd mit Wärme versorgt.



Abbildung 9.52: Nacherwärmung über ein wassergeführtes System

Qualitätskriterium 42 (E)	Anforderung
Nachtlüftungsmöglichkeit	Bei Raumtemperaturen über 24°C im Sommer und mindestens 3°C niedriger Außentemperatur soll die Anlage automatisch eine Nachtlüftung ohne Wärmerückgewinnung zur Raumkühlung durchführen können.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die grundsätzliche Möglichkeit war bei einigen Anlagen zwar vorhanden. Sie wurde aber nicht installiert bzw. nicht genutzt. Rotationswärmetauscher haben diesbezüglich Vorteile, da mit der Rotorsteuerung (Drehzahlregelung) der gewünschte Wärmerückgewinnungsgrad eingestellt werden kann, ohne aufwändige Bypässe zu installieren. Ein gänzlich Abschalten des Rotors wird aber nicht empfohlen, da es aufgrund der dauernden Belastung je einer Rotorhälfte zum „Zuwachsen“ des Rotors kommen kann.

Empfehlungen: Die Aktivierung der Nachlüftungsmöglichkeit hängt von den individuellen Verhältnissen der Schule bzw. der vorherrschenden Überwärmungsproblematik ab. Grundsätzlich ist immer auch der Stromaufwand dem Nutzen gegenüberzustellen.

Qualitätskriterium 39 (E)	Anforderung
Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung	a) Feuchterückgewinnung mit rein dampfförmiger Feuchteübertragung (ohne Kondensatrückgewinnung)
	b) Wenn eine Feuchterückgewinnung vorhanden ist, sollte diese regelbar sein.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Keine der Anlagen verfügt über eine spezielle Feuchterückgewinnung ohne Kondensatphase. Die eingesetzten Rotationswärmetauscher bzw. auch das Lüftungsgerät mit Massenspeicher können nur über die Kondensatphase Feuchte zurückgewinnen. Aufgrund der prinzipiell niedrigen Feuchtelasten in Klassenzimmern ist das Kondensationspotential eher gering und ein nennenswerter Effekt gegenüber rekuperativen Systemen nicht zu erwarten. Dementsprechend orientiert sich die Regelungsstrategie nur an der Temperatur und nicht an den Feuchtwerten.

Empfehlungen: Grundsätzlich sollte bei Rotationswärmetauschern Rotoren bzw. bei Massenspeichern Geräte mit speziellen Beschichtungen zur Feuchteübertragung ohne Kondensatphase gewählt werden (Sorption). Die Feuchterückgewinnung muss aber dann auch entsprechend in die Regelstrategie eingebunden werden. Gute Informationen zum Thema Feuchterückgewinnung und entsprechende Regelungsstrategien finden sie auf www.rlt-info.de im Downloadbereich.

Qualitätskriterium 44 (E)	Anforderung
<p>Keine bzw. hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung</p> <p>Hinweis: Grundsätzlich sollte durch eine bedarfsoptimierte Luftmengenregelung und eine Feuchterückgewinnung keine aktive Befeuchtung notwendig sein.</p>	<p>a) Nachweis, dass aktive Befeuchtung unbedingt notwendig ist und sich nicht durch andere Maßnahmen vermeiden lässt.</p> <p>b) Falls nachweislich notwendig: Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung nach ÖNORM H 6021 bzw. VDI 6022</p> <p>c) Nachweisliche Sicherstellung der regelmäßigen Hygienekontrollen nach VDI 6022 Checkliste Tab. 6</p>

Erfahrungen aus der Evaluierung: Nur eine der Anlagen wurde mit einer aktiven Befeuchtung, einer Verdunstungsbefeuchtung mittels Kontaktbefeuchter (Rieselbefeuchter) betrieben. Diese an sich von hygienischer Seite nicht unkritische Komponente wird vom Hauswart erstklassig betrieben und eingesetzt (je nach Außentemperatur) und in hygienisch einwandfreiem Zustand gehalten.

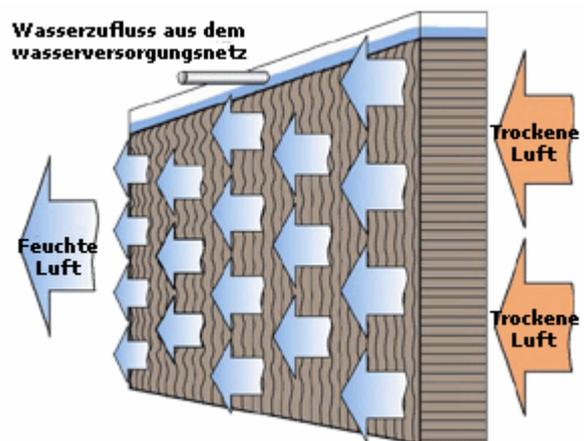


Abbildung 9.53: Bild des sehr gut gewarteten Kontaktbefeuchters

Abbildung 9.54: Schema des Kontaktbefeuchters; Quelle: www.jsluftbefeuchtung.de Stand 01.2008

Für die Befeuchtung ist zusätzliche Energie notwendig. Einerseits elektrische Energie für den Betrieb des Wärmerades (z.B. für die oben genannte Anlage wird ein 90 W-Motor als Antrieb für das Wärmerad eingesetzt). Der weitaus größere Teil der Energie muss aber entweder für die Vor- bzw. Nacherwärmung der Luft bei Verdunstungsbefeuchtern bzw. für die Verdampfungsenergie bei Verdampfungs-befeuchtern eingesetzt werden. Der Energieverbrauch ist bei einem Verdunstungsbefeuchter gleich hoch wie bei einem Elektrodampferzeuger. Lediglich die Quelle der Heizenergie ist eine andere. Würde man bei einem Wasserbefeuchter nicht den Raum zusätzlich heizen, dann würde der Raum durch die „Verdunstungskühlung“ immer kälter werden. Die Heizenergie muss über das Heizsystem nachgeführt werden. Bei Dampf-befeuchtern wird die notwendige elektrische Energie direkt in das Verdampfungssystem gebracht, die Befeuchtung des Raumes erfolgt dann ohne eine Temperaturänderung. Kostenunterschiede ergeben sich lediglich aus den unterschiedlichen Preisen für Strom oder Heizwärme (Öl und Gas). Deshalb sind die Energiekosten für Elektrodampfbefeuchter etwa doppelt so hoch.²¹ Um die Größenordnungen abzuschätzen, gestaltet sich der Energiebedarf für die Befeuchtung im konkreten Fall wie folgt:

Ausgangspunkt: 2,5°C, 75 % r.F., 12.500 m³/h max. Fördermenge

Ziel: 22°C, 30 % r.F.

1. Erwärmung der Zuluft auf 22°C über Wärmetauscher und/oder Nachheizregister; relative Feuchte = 20,8 %
2. Befeuchtung mit 17 Liter Wasser auf 40 % r.F. unter Abnahme der Temperatur auf 17,8°C
3. Nachheizung auf Zielwerte (22°C und 30,9 % r.F.); dafür sind pro Tag 295 kWh an Nachheizenergie notwendig.

²¹ Fachinstitut Gebäude-Klima e. V.: Status Report 8; Fragen und Antworten zur Raumlufffeuchte

ILK Dresden

ILK-hx-Dia (Software zur Darstellung von Prozessen im Mollier - h, x – Diagramm)
 Institut für Luft- und Kältetechnik / Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden / Tel.: 0351 4081 563

Die grün unterlegten Felder sind Eingabefelder.
 Es kann wahlweise die relative Luftfeuchte (RH) oder der Wassergehalt (x) eingetragen werden.
 Prozesszustände im Nebelgebiet sind nicht zulässig. Die Eingabe des Massestrom ist für die Diagrammdarstellung nicht relevant.

Luftdruck 101.325 Pa		Der Normluftdruck beträgt 101 325 Pa, oft wird vereinfacht 1 bar (100 000 Pa) verwendet.						Massestrom 10.381 kg/h			
Bezeichnung	Temp.	RH	Wasser- gehalt	x aus RH	RH aus x	Taupunkt- temperatur	Feuchtkugel- temperatur	Enthalpie	Dichte	Volumen- strom	wirksame Leistung
	°C	%	g/kg	g/kg	%	°C	°C	kJ/kg	kg/m ³	m ³ /h	kW
Außenluft	2,5	75,0		3,4	75,0	-1,5	1,0	11,0	1,28	8.088	
nach 1	22,0			3,4	20,8	-1,5	11,0	30,8	1,20	8.660	57,1
nach 2	17,8	40,0		5,1	40,0	4,1	11,0	30,8	1,22	8.524	0,0
nach 3	22,0			5,1	30,9	4,1	16,0	35,1	1,20	8.646	12,3
nach 4				5,1							
nach 5				5,1							
nach 6				5,1							
Zuluft SUP				5,1							

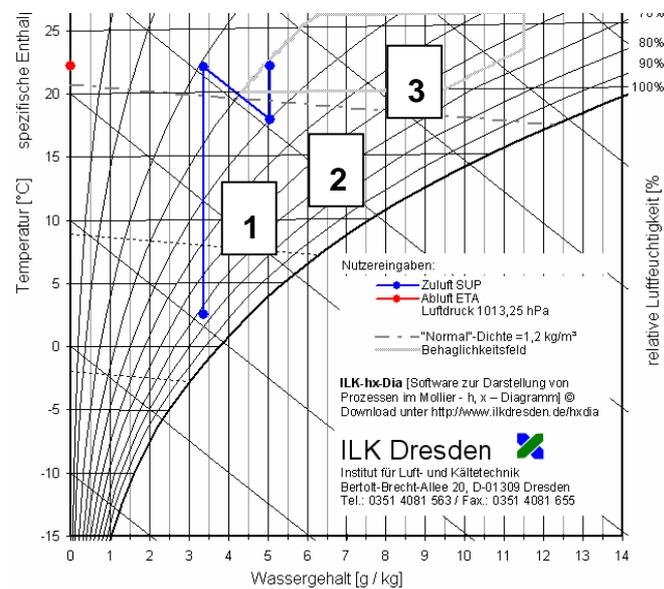


Abbildung 9.55: Tabelle und Grafik aus Excel-Tool „ILK-h,x-Dia“ – ILK Dresden

Empfehlungen: Eine aktive Befeuchtung sollte nur in Ausnahmefällen bei unbedingt zu garantierenden Luftfeuchtigkeiten (z.B. Musikschule mit speziellen Instrumenten) notwendig sein. Im Normalfall können durch eine Kombination von dichter Gebäudehülle, bedarfsorientierten Luftmengen und einer Feuchterückgewinnung die geforderten Werte für die meiste Zeit erreicht werden. Lösungen bieten auch dezentrale Befeuchter in den Klassenräumen, die von verantwortlichen Personen regelmäßig gewartet werden.

Voraussetzung (V5)	Anforderung
Wahl eines geeigneten Verteilkonzeptes (Sternverrohrung oder Verrohrung mit Abzweigern) unter Beachtung der landesspezifischen Brandschutzbestimmungen bzw. der ÖNORM M7624 sowie geeignete Lufteinbringung (Quell- oder Induktionslüftung)	a) Dem Gebäude angepasstes Verteilkonzept (siehe auch Information zur Luftverteilung)
	b) Bei Durchdringungen von Brandabschnitten durch die Luftleitungen ist auf den Erhalt der Brandabschnitte zu achten.
	c) Den Raumverhältnissen bzw. sonstigen Anforderungen angepasstes Lüftungsprinzip mit hoher Lüftungseffektivität (bevorzugt Quellluftsystem)

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die verwirklichten Verteilkonzepte bzw. das Lüftungsprinzip der zentralen Anlagen:

Zentral oder Dezentral	Quell- od. Induktionslüftung	Stern/ Abzweiger
Z	Q	Abzweiger
Z	I	Stern
Z	I	Stern

Tabelle 9.21: Verteilkonzept bzw. Lüftungsprinzip

Quell- und Induktionslüftungen halten sich in etwa die Waage (4:5). Beim Verteilkonzept sind nur zwei der neun Anlagen im Sternsystem für die Zuluft ausgelegt. Im Abluftbereich sind bei allen Anlagen Lösungen mit Abzweiger bzw. zentraler Abluft verwirklicht.

Verteilkonzept: Auch innerhalb der gewählten Verteilkonzepte gibt es sehr viele Unterschiede. Sie reichen von Anlagen, die in jeder Klasse eine Zu- und Abluft vorsehen, bis hin zu Anlagen, die über so gut wie keinerlei Abluftleitungen verfügen und die Luft aus dem zentralen Stiegenhaus direkt zum Gerät führen.

Die direkte Absaugung aus einem zentralen Stiegenhausbereich macht es notwendig, die erforderliche Dichtheit dieses Bereiches sicherzustellen, um die Überströmung aus den Zuluftbereichen (Klassenräumen) zu ermöglichen. Neben der Prüfung der Luftdichtheit des gesamten Gebäudes müssen bei diesen Konzepten auch die Dichtheit der Zonen untereinander überprüft und Türen mit Schleusenfunktion eingesetzt werden.



Abbildung 9.56: Ablufführung aus dem zentralen Stiegenhaus spart eine aufwändige Luftleitungsführung für die Abluft

Nur bei wenigen Anlagen wurden auch die Sanitärbereiche in die Klassenzimmerlüftungsanlage integriert. Probleme mit Geruchsbelästigungen wurden auch bei Rotationswärmetauschern nicht beklagt. Im Regelfall wurden für die Sanitärbereiche jedoch eigene Abluftanlagen realisiert. Hier ergäbe sich noch ein „Einsparpotential“.

Lüftungsprinzip (Quell- oder Mischlüftung): Grundsätzlich liefern die Rückmeldungen der Nutzer keinen Rückschluss auf ein zu bevorzugendes Lüftungsprinzip. D.h. bei fachgerechter Ausführung sind beide Systeme für Klassenzimmer geeignet, wobei aufgrund der theoretisch höheren Lüftungseffektivität und der damit verbundenen, etwas geringeren Luftmengen bei gleicher Luftqualität in Kopfhöhe der Quelllüftung der Vorzug gegeben werden sollte. Von der Behaglichkeitsseite (Zugluft) gab es nur bei Induktionslüftungen die in Qualitätskriterium 6 angesprochenen Probleme. Eine besondere Luftverteilung innerhalb der Klasse ist bei keiner der Anlagen ausgeführt und normalerweise auch nicht notwendig (siehe Kap. 6).



Abbildung 9.57: Quelllufteinlässe (Moser und Partner)

Brandschutz – Brandschutzklappen:

Bei einer Anlage kam es durch Kontaktfehler zu häufigen Anlagenabschaltungen der in die Gebäudeleittechnik integrierten Brandschutzklappen. Diese häufigen Anlagenstillstände trugen wesentlich zum negativen Stimmungsbild der Anlage bei. Dieses Problem lies sich erst durch Austausch aller Kontakte lösen.



Abbildung 9.58: Brandschutzklappe mit Kontaktschalter für GLT

Empfehlungen: Beim Lüftungsprinzip ist der Quelllüftung grundsätzlich der Vorzug gegenüber einer Induktionslüftung zu geben. Beim Verteilkonzept ist eine generelle Aussage, ob Sternverrohrung oder einer Verrohrung mit Abzweigern nicht möglich. Hier kommt es neben den räumlichen Verhältnissen vor allem auch auf die Regelungsstrategie an. Speziell in diesem Bereich spielt das spezifische Fachwissen der Lüftungsplaner und die langjährige Erfahrung eine wesentliche Rolle, da viele Bereiche entsprechendes Fingerspitzengefühl erfordern. Die Besichtigung einiger Schulen, gemeinsam mit dem Auftraggeber und der Architektin, sollte den integralen Planungsansatz unterstützen. Die Einbeziehung aller Gebäudebereiche und die kaskadische Nutzung der Luft, sowie die Minimierung der Verrohrung, insbesondere im Abluftbereich, sollte aber Teil des grundsätzlichen Planungsansatzes sein. Eine Luftleitungsführung bei der nur eine minimale Anzahl von Brandschutzklappen benötigt wird, hilft Investitionskosten sparen und verringert das Ausfallrisiko.

Qualitätskriterium 45 (M)	Anforderung	
Geringer Druckabfall im Luftleitungsnetz	Dezentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Zuluft Einheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 50 [Pa]	Zentral: Max. 200 [Pa] je kompletter Zuluft Einheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 100 [Pa]
	Dezentral: Max. 50 [Pa] je kompletter Abluft Einheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 30 [Pa]	Zentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Abluft Einheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 60 [Pa]

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Druckverluste wurden aufgrund des fehlenden bzw. sehr kurzen Verteilsystems bei den dezentralen Anlagen immer eingehalten bzw. lagen unter den Zielwerten. Bei den zentralen Anlagen lagen die Werte nur für das Verteilsystem teilweise deutlich über 300 Pa.

Empfehlungen: Aufgrund des direkten Zusammenhanges von Druckverlusten und spezifischem Strombedarf sollte diesem Punkt wesentlich mehr Beachtung, insbesondere bei den Ausschreibungsvorgaben, geschenkt werden. Geringe Investitionskosten und geringerem Platzbedarf stehen deutlich höhere laufende Stromkosten gegenüber. Auch die Steigerung der Schallemission durch Ventilatoren und durch verstärkte Strömungsgeräusche muss in die Überlegungen miteinbezogen werden. Durch die OIB Richtlinie 6 und der Vorgabe eines spezifischen Strombedarfes von SFP 1 für alle Neuanlagen ist dieser Punkt indirekt aber auch von der gesetzlichen Seite abgedeckt, da sich die niedrigen Stromkennwerte nur bei entsprechend geringen Druckverlusten erreichen lassen.

Qualitätskriterium 51 (M)	Anforderung
Vermeidung von Kondensat auf (kalten) Außenluft- und Fortluftleitung im warmen Bereich (innerhalb der Dämmhülle, im Keller bzw. im geschlossenen Dachbereich).	a) Möglichst kurze Außenluft- bzw. Fortluftleitungen im warmen Bereich
Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen	b) Mindestens 30 mm Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) in unbeheizten und 120 mm in beheizten Bereichen. Wobei zumindest die inneren 3 cm aus einer feuchtebeständigen, geschlossenzelligen Wärmedämmung (z.B. Armaflex, Kaiflex,...) bestehen muss.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Bei keiner der Anlagen wurden kalte Luftleitungen im beheizten Bereich geführt. In den unbeheizten Bereichen waren die Dämmstärken meist nur 2 cm stark. Zu Kondensaterscheinungen bzw. unzulässigen Abkühlung der Räume kam es jedoch nicht. Vergessen wurden jedoch sehr oft auf die Wanddurchbrüche.

Empfehlungen: Da der Aufwand für die Wärmedämmung bzw. feuchtetechnische Isolation von kalten Luftleitungen in beheizten Bereichen sehr groß ist, sollte dies auf alle Fälle vermieden werden.

Qualitätskriterium 52 (M)	Anforderung
<p>Geringe Energieverluste von warmen Luftleitungen (Zuluft und Abluft) im kalten Bereich (außerhalb der Dämmhülle)</p> <p>Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen</p>	a) Möglichst kurze Zu- bzw. Abluftleitungen im kalten Bereich
	b) Mindestens 60 mm Wärmedämmung (λ 0,04 W/mK) im unbeheizten Bereich (z.B. Keller)
	c) Befinden sich Luftleitungen im Boden- bzw. Deckenaufbau nicht völlig innerhalb des warmen Bereiches, sondern direkt in der Dämmebene, so ist die Luftleitung zumindest mit einer 30 mm dicken Dämmplatte von der Rohdecke zu trennen (λ 0,04 W/mK).
	d) Wird die Luftleitung in oder außerhalb der Außenhülle (nur Sanierung) geführt, sollte diese zumindest 120 mm hinterlüftungsfrei überdämmt sein (λ 0,04 W/mK).

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Wärmedämmung der warmen Leitungen im kalten Bereich waren durchwegs zu gering (meist nur 3 cm) ausgeführt. Die Tatsache, dass eine Luftleitung mit 20°C an sich wie ein Bauteil zu Keller bzw. Außenluft zu betrachten ist und auch entsprechend gedämmt gehört, wurde meist aufgrund der Investitionskosten nicht ausgeführt bzw. besteht bei den Planern diesbezüglich nur eine geringe Sensibilität.

Empfehlungen: Erhöhte Dämmstärken wie sie bei Außenbauteilen mittlerweile Standard sind sollten auch bei „warmen Luftleitungen“ unter Einbeziehung der laufenden Kosten durch die Wärmeverluste stärker beachtet werden.

Qualitätskriterium 55 (M)	Anforderung
<p>Ausreichend große Überströmöffnungen bei Einhaltung der Schallanforderungen</p>	a) Luftgeschwindigkeit max. 2 m/s bzw. max. 4 Pa Druckverlust
	b) Schalldämmmaß der Wand, Tür, ... muss auch mit der Überströmvorrichtung den Schallanforderungen entsprechen.

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Lösungen bei den Überströmbereichen waren durchwegs sehr individuell gelöst. Die Querschnitte waren teilweise jedoch zu gering bemessen.



Abbildung 9.59 a und b: Zu gering bzw. sehr knapp bemessene Überströmbereiche



Abbildung 9.60: Verdeckt ausgeführter Überströmbereich

Empfehlungen: Überströmöffnungen betreffen meist mehrere Gewerke (Lüftung, Architektur, Baumeisterarbeiten, Innenausbau) und bedürfen einer frühzeitigen Abstimmung.

Qualitätskriterium 57 (E)	Anforderung																	
Geringe Luftgeschwindigkeit in den Luftleitungen (beim Betriebsluftvolumenstrom)	a) In den Strängen innerhalb der Klasse bzw. zu und von den einzelnen Räumen max. 2,5 [m/s]																	
	b) Sammelstränge max. 3,5 [m/s]																	
	Maximale Luftmengen bei ausgewählten Rohrdurchmessern:																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rohr Durchmesser</th> <th>max. 3,5 [m/s]</th> <th>max. 2,5 [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>150 [mm]</td> <td>220 [m³/h]</td> <td>160 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>160 [mm]</td> <td>250 [m³/h]</td> <td>180 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>200 [mm]</td> <td>390 [m³/h]</td> <td>280 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>250 [mm]</td> <td>620 [m³/h]</td> <td>440 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>300 [mm]</td> <td>890 [m³/h]</td> <td>630 [m³/h]</td> </tr> </tbody> </table>	Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]	150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]	160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]	200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]	250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]	300 [mm]	890 [m³/h]
Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]																
150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]																
160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]																
200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]																
250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]																
300 [mm]	890 [m³/h]	630 [m³/h]																

Achtung: Dimensionierung von Rechteckquerschnitten über den hydraulischen Durchmesser und nicht über die Geschwindigkeit

Erfahrungen aus der Evaluierung: Zu hohe Luftgeschwindigkeiten in den Luftleitungen, die zu hohen Druckverlusten und damit zu hohen Stromverbräuchen führen, sind ein häufiges Problem. Bei Sanierungen lassen sich höhere Luftgeschwindigkeiten aufgrund der Platzverhältnisse oft nicht vermeiden, aber auch bei Neubauten wurde teils mit viel zu hohen Luftgeschwindigkeiten geplant.

Empfehlungen: Die höheren Investitionskosten für größere Luftleitungen sollten den Einsparungen im laufenden Anlagenbetrieb gegengerechnet werden.

Qualitätskriterium 61 (E)	Anforderung
Konkrete Berechnung der notwendigen Schalldämpfer	Berechnung der notwendigen Schalldämpfer (z.B. nach VDI 2081) bzw. Verwendung eines auf das Gerät abgestimmten Schalldämpfersystems

Erfahrungen aus der Evaluierung: Die Schalldämpferberechnungen werden normalerweise nicht von den Planern selbst, sondern von den Lüftungsfirmen durchgeführt.

Empfehlungen: Aufgrund der hohen Relevanz der Schallbelastung sollten nur konkret berechnete bzw. speziell abgestimmte Schalldämpfer verwendet werden. Bei dezentralen Anlagen sind die Schalldämpfer optimalerweise schon in das Gerät integriert.

9.6 Besondere Lüftungskonzepte in der Evaluierung

Dezentrale Lüftungsanlage mit diskontinuierlich laufenden Lüftungsgeräten:

Dieses Lüftungskonzept wurde in der Volksschule Ludesch umgesetzt. Die Volksschule Ludesch wurde 1964 errichtet. Im Jahr 2005 wurde die Erneuerung der Süd- und Ostfassade als letzte energetische Sanierungsphase für das Gebäude durchgeführt (Sanierung Fenster, Dämmung Außenwand, Einbau Lüftung, PVC- und halofreie Elektroinstallation). Während den Planungsarbeiten für die Sanierung wurden 2 Varianten für die Lüftung erhoben. Eine Variante umfasste die Installation einer zentralen Lüftungsanlage. Die 2. Variante den Einbau einer dezentralen Lüftungsanlage mit diskontinuierlich laufenden Lüftungsgeräten. Aufgrund des ca. 4-fachen Preises der Variante 1 gegenüber der Variante 2 wurde die 2. Variante umgesetzt.

Eingebaut wurden pro Klasse 4 Lüftungsgeräte Type LTM Thermo-Lüfter. Die Funktionsweise dieser Lüfter wird von LTM-Ulm (www.ltm-ulm.de) folgendermaßen beschrieben: „Die verbrauchte Raumluft wird ins Freie befördert und gibt dabei die Wärme an die Wärmespeicher ab. Danach kehrt sich die Laufrichtung der Lüfter um. Die kalte Außenluft wird über die Wärmespeicher geführt, dadurch erwärmt und als frische Luft dem Wohnraum zugeführt. Die einzelnen Thermo-Lüfter (2, 3, 4, ... Stück) werden durch eine Steuerung so zusammengeschaltet, dass sie im System im Gegentakt zusammenarbeiten.“

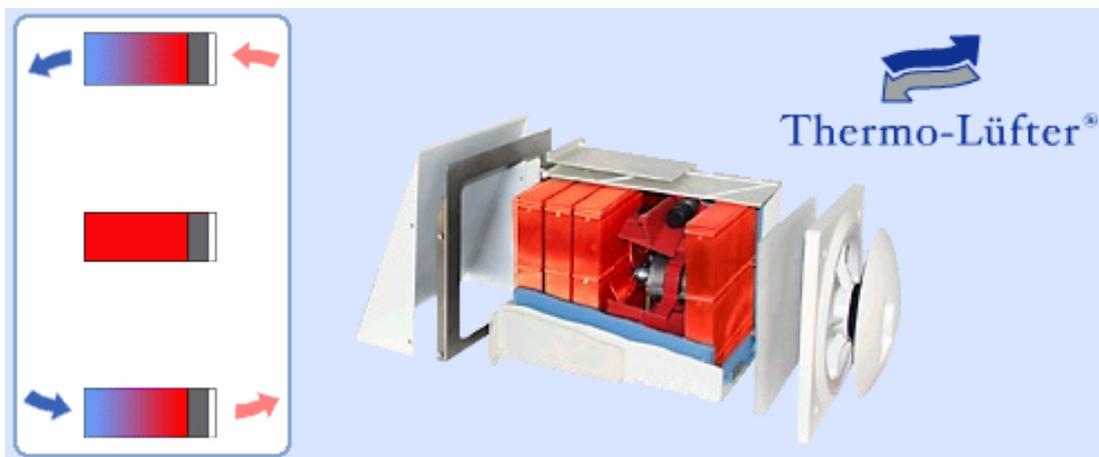


Abbildung 9.61: Abbildung Funktionsweise LTM Themo-Lüfter (Quelle: www.ltm-ulm.de)



Abbildung 9.62: Lüftungsgerät in seine Bestandteile zerlegt

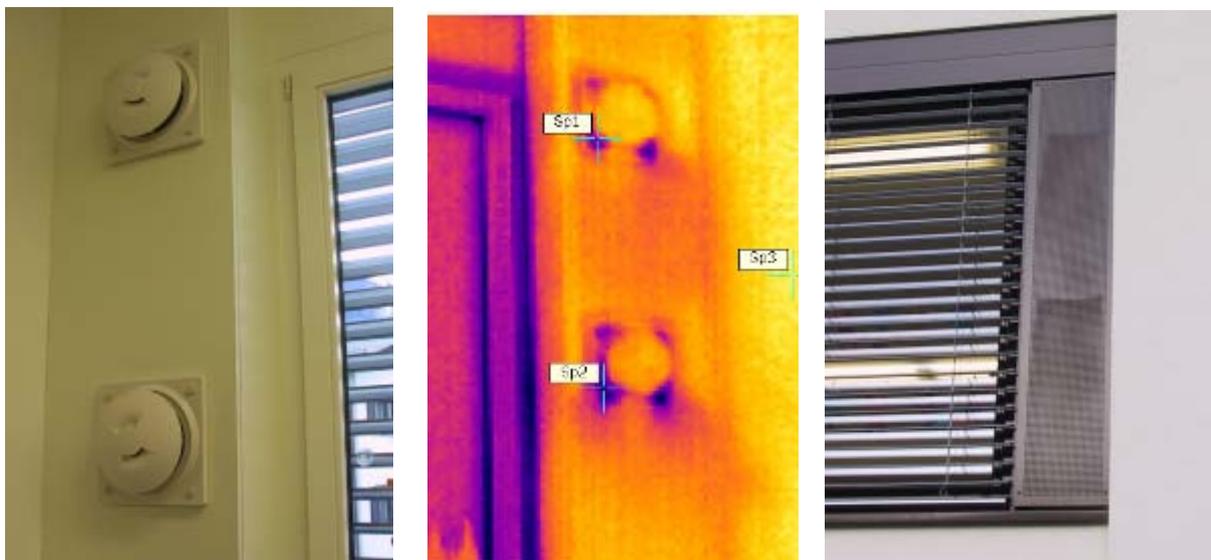


Abbildung 9.63 a–c: von links nach rechts: Lüftungsgerät im eingebauten Zustand; Thermographieaufnahme; Lüftungsgitter außen

Jedes Gerät kann bis zu $108 \text{ m}^3/\text{h}$ in eine Richtung befördern. Da die Funktionsweise diskontinuierlich erfolgt, d.h. alle 50 Sekunden Wechsel der Förderrichtung, kann maximal $54 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Gerät gerechnet werden, d.h. pro Klasse lässt sich damit eine Zulufrate von maximal $216 \text{ m}^3/\text{h}$ realisieren. Aufgrund des Schallpegels von 61 dB(A) bei voller Leistung, sind diese Lufraten aber in der Realität nicht erreichbar. Bei einem erträglichen Schallpegel von rd. 27 dB(A) sind Außenluftmengen von rd. $70 \text{ m}^3/\text{h}$ erreichbar.

Dementsprechend sind die geforderten Luftqualitäten ohne Fensterlüftung von IDA 3 (max. 1.400 ppm in der Stadt) nicht haltbar (siehe unten stehende Grafik). Gegenüber einer reinen Fensterlüftung verlängern sich aber die Lüftungsintervalle aufgrund des langsameren Anstieges der CO_2 -Konzentration.

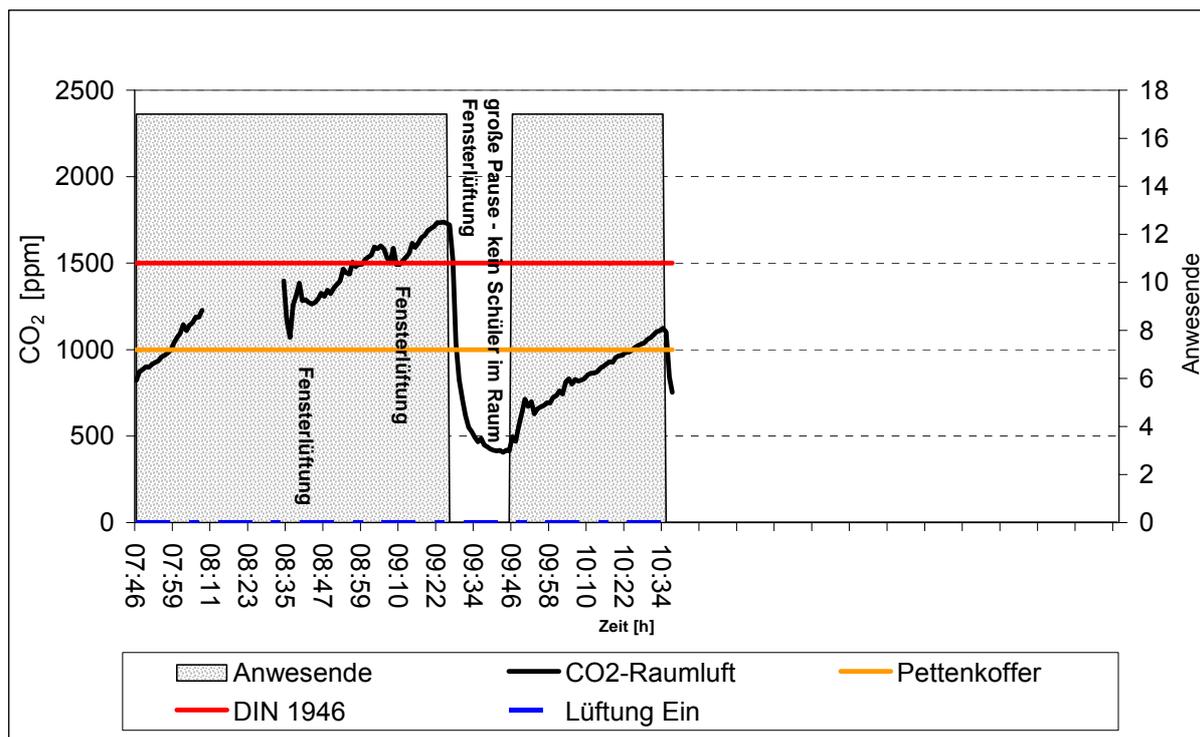


Abbildung 9.64: Messung VS Ludesch – CO₂-Verlauf vom 08.02.2007

Dieses Anlagenkonzept kann seinen Einsatz als Unterstützung der Fensterlüftung bei kleineren Räumen mit einer geringeren Personenbelegung, z.B. Kindergärten, finden. Für typische Schulklassen ist das System nur bedingt geeignet.

10 Typische Kritikpunkte bei Klassenzimmerlüftungen

Die aufgrund der Erfahrungen der Evaluatoren gesammelten Kritikpunkte an den Klassenzimmerlüftungen lassen sich grob auf die folgenden Punkte reduzieren:

1. Ungenügende Luftmengen
2. Zu hohe Schallpegel in den Klassenzimmern
3. Nicht angepasstes Gesamtkonzept
4. Keine optimale kaskadische Nutzung der Luft bei zentralen Anlagen
5. Ungenügende Filterqualitäten
6. Zu hoher Strombedarf, Veraltete Motoren- und Antriebstechnik (Wechselstrommotoren statt EC-Motoren, Keilriemenantriebe anstatt Direktantriebe)
7. Ungeeignete Steuerung bzw. Regelung
8. Ungeeignete Kontakte bei in die Leittechnik eingebundenen Brandschutzklappen
9. Keine ausreichende Betreuung der Anlage vor Ort (Hausmeister ist bzw. fühlt sich nicht zuständig)
10. Ungenügende Aufklärung der NutzerInnen

Für die Gesamtzufriedenheit der Nutzer ist neben der Performance der Anlage die Information und Aufklärung mindestens gleichwertig. Nur eine „perfekte Anlage“ zu verwirklichen, führt noch nicht zu einer hohen Nutzerzufriedenheit.

11 Planungsleitfaden – Klassenzimmerlüftung

In der ÖNORM EN 13779:2008 befinden sich im Abschnitt C Checklisten für die Auslegung und Nutzung von Anlagen mit niedrigem Energieverbrauch:

1. Checkliste für die Planung des Gebäudes
2. Checkliste für die Planung der Lüftungs- und Klimaanlage
3. Checkliste für die Auslegung einzelner Komponenten
4. Checkliste für die Nutzung der Anlage

Dieser Planungsleitfaden dient als ergänzende Hilfestellung für die qualitätsorientierte Planung von Klassenzimmerlüftungen. Zielgruppe sind nicht nur die mit der Planung von Klassenzimmerlüftungen betrauten FachplanerInnen, sondern vielmehr auch ArchitektInnen und BaumeisterInnen, die bereits in der Entwurfsphase durch Berücksichtigung der Anforderungen dieser Technologie die erforderlichen baulichen Voraussetzungen schaffen können.

Der Planungsleitfaden ist in vier Bereiche unterteilt:

1. Checkliste für die Basisdatenerhebung
2. Entscheidungshilfen
3. Empfehlungen
4. 61 Qualitätskriterien (Kapitel 9.4)

Integrale Planung: Allgemeine Ansätze, wie die integrale Einbindung des Lüftungskonzeptes in die Gesamtplanung, werden vorausgesetzt und nicht eigenes ausgeführt. Insbesondere beim Gewerk „Lüftung“ ist die Einbeziehung der Anforderungen hinsichtlich Platzbedarf, Zonierung und Luftdichtheit, Brandschutz, usw. in die frühe Planungsphase entscheidend für niedrige Investitionskosten, einen effizienten Betrieb und zufriedene Nutzer.

Ansprüche und Erwartungen: Bevor Planungsentscheidungen getroffen werden, muss zwischen Auftraggeber und den PlanerInnen abgeklärt werden, inwieweit sich deren Vorstellungen mit den Möglichkeiten einer Lüftungsanlage decken. Die Bandbreite der Erwartungen kann von einer Unterstützung der Fensterlüftung bis zur Vollklimatisierung reichen. Aus diesem Grund ist es ratsam, neben einem klärenden Gespräch auch Referenzanlagen ähnlicher Objekte zu besichtigen und den Erfahrungsvorsprung dieser Anlagenbetreiber zu nutzen.

11.1 Checkliste für die Basisdatenerhebung

Im Folgenden sind die früh verfügbaren Daten eines Bauvorhabens und deren mögliche Auswirkungen auf die Lüftungsanlage angeführt.

- Projektmanagement

Verantwortlichkeiten, Ablauf und Termine

- Schultyp

Altersgruppe der SchülerInnen, Nutzungsprofil, max. Schüleranzahl/Klasse, Aktivität, Bekleidung

Relevanz und Auswirkungen → Luftmenge, Art der Steuerung/Regelung

- Art des Bauvorhabens

Neubau, Sanierung, Erweiterung

→ Möglichkeiten der Integration, Verwendung bestehender Infrastruktur

- Bauvolumen

Bruttogeschoßfläche, Nettoflächen, Nettovolumina, Klassen-/Schüleranzahl

→ grobe Kostenkalkulation, erforderliche Ressourcen und Kapazitäten

- Bebauung

Freistehend/dicht verbaut/gekuppelt/Teil eines Objektes

→ Möglichkeiten der Integration, Lage der Außenluftansaugung, des Fortluftauslasses

- Grundstück

Garten/Grünfläche/Innenhof/ohne Eigengrund, Nutzung, Orientierung, Bauaushub

→ mögliche Nutzung von Erdwärme, Lage der Außenluftansaugung

• Standort Einflüsse

Verkehr, Gewerbe/Industrie, Lärm, Abschattungen, Untergrund (Radonbelastung), Nachbargebäude, Emissionen, Trinkwasserqualität, Grundwasserqualität

→ *erforderliche Außenluftaufbereitung, Schallschutz, mögliche Erdwärmenutzung, Wasseraufbereitung für Befeuchtung*

• Klima

(Norm-)Außentemperaturen Winter/Sommer, Kleinklima (Waldnähe, Asphaltflächen), Nebelhäufigkeit, Sonneneinstrahlung, Windrichtung, Schneehöhe

→ *Frostschutzdauer, Platzierung und Ausführung der Außenluftansaugung, Durchfeuchtungsfahr für Filter, Überwärmungsneigung, Wirksamkeit einer Nachtlüftung*

• Raumnutzungen

Unterrichtsräume, Sonderunterrichtsräume, Versammlungsräume, Doppelnutzungen z.B. als Veranstaltungsräume bzw. Vereinsräume am Abend, Aula, Nassräume, Küche, Kantine, Turnsäle, Raucherräume, sonstige belastete Räume, Lage von Stiegenhäusern, Verbindungsgängen, grobes Nutzungsprofil (Nutzungsart und Nutzungszeit) der Räume

→ *Zonierung, mögliche Doppelnutzungen der Luft, Überströmungen, erforderliche Dichtheit der Zonen untereinander, Lüftungssysteme anderer Bereiche, Art der Steuerung und Regelung*

• Bautypus, Kubatur

Geschoßzahl, Unterkellerung, Dachform, Gebäudeform kompakt/stark gegliedert/langgestreckt

→ *Systemwahl: zentral, dezentral, semizentral, Anzahl und Lage der Lüftungszentralen, Leitungsführung, Art der Verteilung, Außenluftfassung*

• Bauweise, Glasflächenanteil

Schwere/mittelschwere/leichte Bauweise, Glasflächenanteil (Orientierung) Baukonstruktion/Statik, Baumaterialien und Oberflächen sowie deren Emissionen

→ *Überwärmungsneigung, zusätzliche Luftmengen, Art der Nachtlüftung, Schallschutz, Integration der Luftleitungen in tragende Teile, Möglichkeiten für Durchbrüche*

• Geräteausstattung

Beamer, PCs, Bildschirme, Laborausstattung

→ *Interne zusätzliche Wärmelasten, Überwärmungsneigung, Schadstoffquellen*

• HKLS

Wärmeerzeugung, Wärmetransport, Wärmeabgabe, Sanitärinstallation, Leitetchnik

→ *Art der Zuluft einbringung, Luftströmungsrichtung durch Konvektion, Anschluss für Kondensatableitung, Wasser für Befeuchtung, Möglichkeiten der Steuerung und Regelung*

• PH-Konzept, Energiekennzahl

PH-Konzept (Luftheizung); Energiekennzahl (A++ bis G)

→ *max. Luftmengen, max. Einblastemperaturen, min. Feuchtwerte, Art der Wärme-/Feuchterückgewinnung, Dämmstärken der Verteilungen, Gebäudedichtheit, Art der Steuerung und Regelung, Überwärmungsneigung*

• Möblierung

Ausstattung, Anordnung, Emissionen

→ Blickrichtung der SchülerInnen, zusätzliche Luftmengen, Anordnung von Luftdurchlässen

• Erhöhte Feuchtelasten (ausgenommen Personen)

Zimmerpflanzen, Hydrokultur, Aquarium, Befeuchter

→ *Art der Wärme-/Feuchterückgewinnung, mögliche erhöhte Kondensatbildung an der Wärmerückgewinnung bei dezentralen Geräten*

• Örtliche Vorschriften, schulische Vorgaben

Sicherheitsvorschriften Fensteröffnung, örtliche Brandschutzvorschriften

→ Entscheidung Volllüftung/Teillüftung, Luftleitungsführung, Brandabschnitte

11.2 Entscheidungshilfen

Für die folgenden konkurrenzierenden Ansätze sind die wichtigsten Entscheidungskriterien in eine möglichst einfache Auswahlmatrix zusammengefasst.

1. Teillüftung – Volllüftung
2. Reine Lüftung – Luftheizung
3. Zentral – semizentral – dezentral
4. Quell- oder Mischlüftung
5. Sternverrohrung oder „dezentral“ über Abzweiger
6. Steuerung und Regelung
7. Frostschutzstrategie

11.2.1 Entscheidung Teillüftung – Volllüftung

Bei einer Teillüftung werden die geforderten CO₂-Werte nur mit einer zusätzlichen Fensterlüftung (Stoßlüftung) in den Pausen erreicht. Bei einer Volllüftung ist eine zusätzliche Fensterlüftung in der Heizperiode nicht unbedingt erforderlich, aber möglich.

Teillüftung: Dazu muss das Stoßlüften über ausreichend große Querschnitte ohne Sicherheitsrisiko (Absturzgefahr, Ausreißen von Flügeln durch Wind) in den Pausen ohne Aufsicht gewährleistet werden. Für ungünstige Witterung (starker Wind, Niederschlag) ist das Einstellen und Fixieren der Lüftungsöffnungen zu ermöglichen, um das Eindringen von Niederschlag zu verhindern.

Volllüftung: Die Lüftungsanlage übernimmt in der Heizperiode oder in Spezialfällen auch ganzjährig die vollständige Lüftungsfunktion für den hygienischen Luftbedarf. Achtung: Die Luftmengen für eine Volllüftung im Sommer müssen gegenüber den typischen Vorgaben nochmals erhöht werden, da Gerüche im Sommer intensiver wahrgenommen werden und die Entfeuchtung höhere Luftmengen erfordert.

Empfehlung: Einer Volllüftung für den Winterfall ist aufgrund der Erfahrungen aus der Evaluierung klar der Vorzug zu geben, da die Gefahr besteht, dass eine Teillüftung den Erwartungen der Nutzer nicht entspricht. Außerdem sind bei einer Teillüftung geeignete Lüftungsmöglichkeiten und auch eine entsprechende „Lüftungsdisziplin“ für die Zufriedenheit erforderlich. Aufgrund der größeren Dimensionierung von Volllüftungen für den Winterfall lassen diese auch eher eine Unterstützung der Nachtlüftung zu. Bei Teillüftungen müsste für diese (Zusatz-) Funktion ein separates Nachtlüftungssystem eingeplant werden. Interessant sind Teillüftungen eventuell in Schulen mit kurzen Unterrichtszeiten (Grundschulen), überdurchschnittlich großem Raumvolumen pro SchülerIn (Raumhöhen >3,5 m) und sehr guten Querlüftungsmöglichkeiten. Eine Volllüftung für den Sommerfall sollte nicht angestrebt werden.

11.2.2 Reine Lüftung – Luftheizung

Die Beeinflussung der Raumtemperatur durch Klassenzimmerlüftungen ist aufgrund der Luftmenge und der maximal möglichen Spreizung zwischen Zulufttemperatur und Raumlufthtemperatur auf Werte um 5.000 W im Heizfall und etwa 1.600 W für den Kühlfall begrenzt. Grundsätzlich sollte die Wärme- bzw. Kälteeinbringung nach Möglichkeit nicht über die Lüftung, sondern über rasch regelbare statische Heiz- bzw. Kühlflächen erfolgen.

Um mit einer Zuluftheizung die Heizlast vollständig abdecken zu können, sind grundsätzlich die Passivhauskriterien zu erfüllen. Da die Lüftungsanlage nur etwas länger als die Unterrichtszeit in Betrieb sein sollte, um einer zu starken Entfeuchtung der Raumlufth entgegenzuwirken, muss die Wärmeeinbringung an Unterrichtstagen hauptsächlich kurz vor Unterrichtsbeginn erfolgen. Über die Wochenenden oder Ferienzeiten muss die Lüftungsanlage in kalten Winterperioden auch über die Grundlüftung von 0,15 m³/h pro m² nach EN 13779:2008 hinaus in Betrieb sein, um eine zu starke Abkühlung der Räume zu verhindern. Bei Anwesenheit der SchülerInnen ist im Regelfall keine zusätzliche Wärmeeinbringung mehr erforderlich, da die inneren Wärmelasten der anwesenden Personen in einer Passivhausschule deutlich höher sind als die Heizlast der Klasse.

Aufgrund der stark schwankenden inneren Lasten, sind Klassenräume vorzugsweise in schwerer Bauweise auszuführen, um einen Lastausgleich über die Wärmespeicherung in den umgrenzenden Bauteilen zu erreichen. Zuluftheizsysteme ermöglichen wie konvektive Heizkörper bei geeigneter Platzierung der Thermostate bzw. Raumfühler ein sehr rasches Reagieren auf Lastwechsel, wodurch starke Schwankungen der Raumtemperatur vermieden werden können.

Problematik: Abhängig von ihrer Exposition im Gebäude weisen Klassenräume unterschiedliche Heizlasten auf. Die Lüftungsanlage muss unter Umständen auch für einige wenige Klassen länger in Betrieb sein, wodurch zentrale Anlagenkonzepte einen hohen Steuerungs- bzw. Regelungsaufwand erfordern. Betriebszeiten außerhalb des Unterrichts erfordern Gegenmaßnahmen, die der Entfeuchtung entgegenwirken, wie Feuchterückgewinnung und/oder Befeuchtungsmaßnahmen.

Empfehlung: Grundsätzlich sind daher getrennte Heiz- und Lüftungssysteme zu bevorzugen. Für die Umsetzung von Passivhauskonzepten befinden sich im Protokollband 33 des Passivhausinstitutes „Passivhaus-Schulen“ wertvolle Hinweise.

11.2.3 Zentral – dezentral – semizentral

Die folgende Entscheidungsmatrix versucht dieses komplexe Thema, das auch in Kapitel 6 erläutert wurde, zu systematisieren.

Tabelle 11.1: Entscheidungskriterien für die Systemwahl

<i>Kriterien</i>	zentral	dezentral (1)	dezentral (2)	semizentral
Starke Staubbelastung am Standort				
Hohe Außenschallbelastung am Standort				
Starke Aufheizung der Fassade im Sommer			(3)	
Starke Winddruckbelastung an der Fassade			(4)	
Keine Änderungen an der Fassade				
Geringer Aufwand für Filterwechsel				(5)
Entfernung zu Technikraum sehr groß, bzw. Leitungsführung sehr aufwändig				
Hohe Brandschutzanforderungen				
Ausfallsicherheit				
Einfache Steuerbarkeit				
Mehrstufige Luftaufbereitung und Nachbehandlung erforderlich*				
Individuelle Luftkonditionen je Klasse				
Individuelle Nutzungszeiten je Klasse				
Einfacher Eigenschallschutz				(6)
Geringer Planungsaufwand				
Vermeidung von Transmissionsverlusten und Wärmebrücken (System + Integration)				

(1) Lüftungsgerät im Klassenzimmer

(2) Lüftungsgerät außerhalb des Klassenzimmers

(3) Außenluftansaugung an sonnenabgewandter Seite

(4) Außenluft- und Fortluftdurchlässe an windgeschützten Seiten bzw. Querschnitte horizontal

(5) nur bei zentraler Filterung der Luft

(6) ohne Stützventilatoren im Raum

*z.B. mehrere Filterstufen, Erdvorwärmung, Heiz- und/oder Kühlregister, Befeuchtung, etc.

Da grundsätzlich mit zentralen und dezentralen Systemen die gleichen Ziele erreicht werden können, spitzt sich die Entscheidung meist auf die Kosten zu.

Errichtungskosten: Zentrale Anlagen haben auf den ersten Blick meist einen Kostenvorteil gegenüber dezentralen (klassenweisen) Lösungen. Auf den zweiten Blick stellt man fest, dass bei den zentralen Konzepten aber meist auf eine klassenweise Steuerung bzw. Regelung der Luftmenge verzichtet wurde, um den Kostenvorteil gegenüber dezentralen Anlagen nutzen zu können. Vergleicht man gleichwertige Lösungen hinsichtlich bedarfsangepassten Luftmengen, so kann man keine eindeutigen Kostenvorteile mehr ausmachen.

Betriebskosten Wartung: Dezentrale Geräte benötigen auf der Abluftseite und bei dezentraler Ansaugung auch auf der Zuluftseite je einen Filter, der aufgrund der kleinen Filterflächen mehrmals pro Jahr gewechselt werden muss. Aufgrund des höheren Manipulationsaufwandes und der höheren Anschaffungskosten bei mehreren dezentralen Filtern gegenüber einem zentralen Filter sind zentrale Anlagen in diesem Bereich klar im Vorteil.

Vergleichbar sind die längerfristigen Wartungskosten nur, wenn auch der Schutz des Luftleitungssystems vor Staubablagerungen in die Überlegung einbezogen wird. Demnach wären dezentrale Abluftfilter an den Abluftdurchlässen bei allen Anlagen mit Luftleitungen erforderlich, da nur diese einen jahrzehntelangen Schutz vor Grobstaubablagerungen im Abluftsystem ermöglichen. Dezentrale Anlagen ohne Verteilungssystem und zentrale Anlagen mit zentraler Abluft (Atrium) vermeiden diesen Kostenfaktor, der je nach Filterqualität und Luftbelastung alle ca. 15–20 Jahren zum Tragen kommt.

Betriebskosten Strom: Im Regelfall schneiden hier dezentrale Geräte aufgrund der verfügbaren effizienteren Motorentechnologie und der in der Praxis angepassteren Betriebszeiten besser ab. Zusätzlich verursachen die längeren Leitungsnetze von zentralen Anlagen deutlich höhere Druckverluste und damit höhere Stromkosten.

11.2.4 Quell- oder Mischlüftung

Mit beiden Lüftungsarten lassen sich zufriedenstellende Lösungen der Luftversorgung bewerkstelligen. Insbesondere im Altbau stellt sich die Frage, wie man den Aufwand für die Leitungsinstallation und -integration minimieren kann. Mischlüftungen (Induktionslüftungen) bieten hinsichtlich Platzierung der Luftauslässe mehr Möglichkeiten. Da Ein- und Auslässe auch an der gleichen Seite angebracht werden können, kommt man im Regelfall mit kürzeren Leitungslängen aus. Die wichtigsten Auswahlkriterien für die Entscheidung, ob eine Quell- oder Induktionslüftung zur Anwendung kommen soll, sind in untenstehender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 11.2: Entscheidungskriterien für die Art der Zuluft einbringung

<i>Kriterien</i>	Quelllüftung	Mischlüftung
Klassenraumhöhe < 3m		
störende Luftablenkungen an der Decke möglich		
Zuluftheizung		
Zuluftkühlung		
Temperatur-Behaglichkeitsgrenze der Zuluft bei Raumeintritt kann nicht immer eingehalten werden		
Luftleitungsintegration im Deckenbereich (abgehängte Decke)		
vorhandene Überströmquerschnitte in Bodennähe		

11.2.5 Sternverrohrung oder „dezentral“ über Abzweiger

Vor allem bei zentralen Anlagen stellt sich die Frage der Art der Luftverteilung. Neben dem klassischen Verteilprinzip über Abzweigungen der Luftleitungen (Baumstruktur), hat sich in der Wohnungslüftung zum Teil die Verteilung bzw. Sammlung der Luft über schalldämmte zentrale Boxen mit Abgängen in gleicher Dimension etabliert. Dieses System findet mittlerweile auch im Schulbereich seinen Einsatz.

Tabelle 11.3: Entscheidungskriterien für die Verteilung bzw. Sammlung

<i>Kriterien</i>	Verteilung über Abzweigungen	zentrale Verteilung
größere Entfernung der Klassenzimmer zueinander		
zentrale Lage des Gerätes zu den Klassenräumen, Geringe Anzahl der zu versorgenden Räume		
langgestreckter Baukörper - Klassenräume nebeneinander		
geringes Platzangebot für Telefonieschalldämpfung		
Reinigungsaufwand		
Einregulierbarkeit		

11.2.6 Steuerung und Regelung

Die Art der Steuerung und Regelung hat entscheidenden Einfluss auf die Behaglichkeit (Raumlufffeuchte) und den als Ziel definierten effizienten Betrieb. Die Auswahl der üblichen Systeme ist in untenstehender Tabelle angeführt. Welche Strategie gewählt wird, ist unter anderem vor allem von der Kosten/Nutzen-Erwartung abhängig. Bei Raumluffqualitätsregelung sollten die teureren CO₂-Fühler zur Anwendung kommen. So genannte Mischgassensoren haben aufgrund ihrer Detektion verschiedener Schadstoffe (Ammoniak, Tabakrauch, CO, VOCs, kein CO₂) eine andere Charakteristik und führen bei der typischen Nutzung von Klassenzimmern meist nicht zum gewünschten Sollwert der Raumluffqualität.

Tabelle 11.4: Arten der Lüftungssteuerung bzw. -regelung

		Betriebssteuerung (ein/aus)	
		Wochenprogramm- Zeitsteuerung	Anwesenheitssteuerung
Luftmengensteuerung/- regelung	fixe Lüftungsstufe		
	Stufenschaltung Zeitprogramm		
	manuelle Stufenschaltung Klassenzimmer		
	personenabhängige Steuerung*		
	CO ₂ -Luftgüteregelung		
	kombinierte Luftgüte- und Feuchteregelung		

*Luftmenge wird aufgrund Stundenplan und Schüleranzahl berechnet

11.2.7 Frostschutzstrategie

Bei Außenlufttemperaturen unter 0°C kann es zum Gefrieren des Abluftkondensats in der Wärmerückgewinnung kommen, was die Wärmeübertragungsleistung schmälert und den Druckverlust erhöht. Ohne Maßnahmen kann es sogar zum Zufrieren der Strömungsquerschnitte kommen. Um eine Beeinträchtigung des Lüftungsbetriebs bei niedrigen Außentemperaturen zu verhindern, muss je nach Art und Effizienz der Wärmerückgewinnung eine Vorwärmung der Außenluft erfolgen. Bei sorptiver Feuchteübertragungsfunktion kann auch ein störungsfreier Betrieb bei Außenlufttemperaturen um -10°C gewährleistet werden. Allerdings ist zu beachten, dass dann das Temperaturniveau nach der Wärmerückgewinnung nicht ausreicht, um die für die thermische Behaglichkeit erforderliche Zulufttemperatur im Klassenzimmer zu erreichen. Eine zusätzliche Nacherwärmung ist erforderlich. Wenn die Vorwärmung auf eine Mindesttemperatur um 0°C angehoben wird, dann kann bei einer effizienten Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung meist auf eine Nacherwärmung verzichtet werden. Um den Primärenergiebedarf niedrig zu halten, ist wenn möglich Erdwärme zu nutzen bzw. bei Einsatz von Elektroheizungen eine temperaturabhängige Regelung einzusetzen.

Die zu wählende Frostschutzstrategie ist einerseits abhängig von der Art und Effizienz der Wärmerückgewinnung und andererseits vom Zielwert für den Primärenergiebedarf. Folgende Frostschutzstrategien sind anwendbar:

- Erdwärme: Die Nutzung des Temperaturniveaus des Erdreichs in frostfreier Tiefe ist mit luft- oder soledurchströmten Systemen möglich. Eine Hilfestellung zur Auswahl bietet untenstehende Tabelle. Die Nutzung von Erdwärme wird vorzugsweise in Gebäuden mit hohem energetischen Standard eingesetzt. Örtliche Voraussetzungen sind:
 - Untergrund muss bis in ca. 2 m Tiefe leicht abtragbar und möglichst gut wärmeleitfähig sein (keine Felsen, Schotter oder Torf)
 - Möglichst unbeschattet
 - Abstand zu Fundamenten und Nachbargrundstücken >1 m
 - Keine tiefwurzelnenden Pflanzen über dem Erdwärmetauscher

Tabelle 11.5: Entscheidungskriterien für die Art des Frostschutzes

Anforderungen	Frostschutzvariante		
	Erdwärme	leistungsgeregelte elektr. Vorwärmung	Außenluftbypass*
hoher energetischer Standard			
geringer energetischer Standard			(1)
Normaußentemperatur < -18°C			

(1) Behaglichkeitstemperatur wird nicht immer erreicht;
optimierte Quelllüftung oder Zuluft-Nachheizung erforderlich

Tabelle 11.6: Entscheidungskriterien für die Art des Erdwärmetauschers (EWT)

Kriterien		Luft-EWT	Sole-EWT
technische Kriterien	Hygienesicherheit		
	Ausfallsicherheit		
	Regelbarkeit		
	zentrale Anlagen		
	Radonbelastung		
	Einbindung Wärmepumpe		
Kosten	Objekt mit < 3 Klassen		
	größere Objekte		

- Elektrische Vorwärmung: unregelmäßige Elektroheizungen sind aufgrund ihres hohen Stromverbrauches strikt abzulehnen. Der Sollwert für die Regelung sollte auf das erforderliche Temperaturniveau der Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung eingestellt werden. Bei gemäßigttem Klima (Normaußentemperatur über -10°C) ist der Strombedarf relativ gering. Dann ist es auch möglich, das Temperaturniveau so einzustellen, dass auf eine Nacherwärmung verzichtet werden kann (Voraussetzung ist eine effiziente Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung).
- Außenluftbypass: Die Außenluft wird zum Teil in einem Bypass an der Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung vorbeigeführt. Da die Zulufttemperatur stark sinkt, ist bei dieser Art der Frostschutzstrategie eine Nacherwärmung unverzichtbar. Diese Frostschutzstrategie sollte eigentlich nur in gemäßigten Klimaten eingesetzt werden.
- Zuluftreduktion: Bei dieser Strategie wird die Zuluftversorgung reduziert bis zur vollständigen Abschaltung des Zuluftventilators. Diese Frostschutzstrategie ist eigentlich nicht mehr zeitgemäß, da sie zusätzlich eine entsprechend kontrollierte Nachströmung über Außenluftdurchlässe erfordern würde. Gerade in Zeiten mit sehr niedrigen Außentemperaturen würde diese Strategie im Zusammenhang mit einer „Komfortlüftung“ nur wenig Akzeptanz finden. In Gebieten mit Radonproblematik ist eine Zuluftreduktion auch Gesundheitsgefährdend.

11.3 Empfehlungen

Für die folgenden Bereiche werden Empfehlungen bzw. Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt:

1. Integration der Luftleitungen
2. Energetische Standards
3. Innenraumluftqualität
4. Einhaltung der Raumlufffeuchte
5. Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich
6. Akustik
7. Brandschutz
8. Sommerlicher Wärmeschutz
9. Organisatorische Kriterien
10. Wirtschaftliche Aspekte

11.3.1 Integration der Rohrleitungen

Ein zentrales Thema bei der Lüftungsinstallation, insbesondere bei Sanierungen, stellt die Unterbringung der Luftleitungen dar. Neben der Führung in Zwischendecken, in Doppelböden oder der Verkleidung mit Trockenbauteilen besteht auch die Möglichkeit der architektonischen Einbindung. Durch besondere Beschichtungen oder Formgebung können Luftleitungen als Gestaltungselement genutzt werden.



Abbildung 11.1: Beispiel einer gelungenen Integration von Luftleitungen in einem Kindergarten

Bei der Unterbringung von Lüftungsbauteilen ist insbesondere auf die Vandalensicherheit zu achten. Außenluftansaugungen sind insbesondere so anzuordnen, dass ein Zugriff ohne Hilfsmittel (Leiter) nicht ohne weiteres möglich ist. Luftleitungen sind so zu befestigen, dass sie nicht als „Turngeräte“ dienen können. In den Klassenzimmern sind Abluft- bzw. Überströmbereiche so anzuordnen bzw. zu schützen, dass sie nicht als „Müllschlucker“ missbraucht werden.

11.3.2 Energetische Standards

Heizlast: Geringe Heizlasten erlauben grundsätzlich die vollständige Abdeckung der Heizlast über die Zuluftnachheizung (siehe Sonderfall Zuluftheizung).

Heizwärmebedarf: Die Reduktion des Heizwärmebedarfs durch die Lüftungsanlage wird meist auf die Effizienz der Wärmerückgewinnung des Gerätes reduziert. Noch immer wird der Einfluss der Transmissionsverluste der Leitungsoberflächen der Luftleitungen unterschätzt. Lange Leitungsführungen von Außenluft und Fortluft innerhalb der beheizten Gebäudehülle sind prinzipiell zu vermeiden, da sie hinsichtlich des Wärmeschutzes wie Außenbauteile behandelt werden müssten. In der Praxis werden aber kaum Dämmstärken >50mm angebracht. In der neuen Berechnungsmethode des Energieausweises werden diese Verluste aber nun ebenfalls berücksichtigt.

Strombedarf für Lüftung (Ventilation, Frostschutz): Als Richtwerte für den spezifischen Energiebedarf, bezogen auf die transportierte Luftmenge pro Ventilatoreinheit, dienen die sieben SFP-Klassen gemäß ÖNORM EN 13779:2008. Grundsätzlich ist durch die OIB-Richtlinie 6 nur mehr die SFP-Klasse 1 zulässig. Neben dem Strom für die Ventilatoren ist jedoch insbesondere der Strombedarf für den Frostschutz zu beachten. Weitere Stromverbraucher bei einer Lüftungsanlage sind z.B. der Antrieb für einen Rotor, Pumpen, Regelung, etc. Diese Zusatzverbraucher sind ebenfalls in die Bedarfsberechnungen einzubeziehen und zu optimieren.

11.3.3 Innenraumluftqualität

Außenluftqualität: Die Innenraumluftqualität ist abhängig von der Außenluftqualität. Abhängig von der Belastung der Außenluft mit Schwebstoffen sollte die Güte der Filterklasse und die erwartete Standzeit des Filters und somit die Filterfläche festgelegt werden. Gasförmige Stoffe oder Gerüche können mit üblicher Filtertechnologie nicht zurückgehalten werden. Grundlegenden Einfluss auf die nutzbare Außenluftqualität sowie die Betriebssicherheit hat die Platzierung der Außenluftansaugung. In der EN 13779:2008 wird eine Einteilung in drei Klassen (ODA1/ODA2/ODA3) vorgenommen, wobei es nur eine grobe Richtlinie zur Zuordnung gibt.

Schadstoff- bzw. Chemikalienmanagement: Auch die kontrollierte Be- und Entlüftung von Klassenräumen ersetzt nicht den sorgsamem Umgang mit flüchtigen, die Raumluft belastenden, Chemikalien. Spezialisierte Consulter bieten Hilfestellung bei der Auswahl von Klebern, Anstrichen, Bodenbelägen und sonstiger Innenausstattung. Zum Teil gibt es bereits ein Labelling für schadstoffarme Produkte.

Betriebsbedingte Geruchs- oder Schadstoffemissionen: Hausgemachte Geruchs- bzw. Schadstoffe (z.B. Mensa) können durch die Thermik im Gebäude verfrachtet werden. Bei der Mehrfachnutzung der Luft über mehrere Zonen hinweg ist sicherzustellen, dass diese Zone als letztes gereiht ist und der Unterdruck ausreicht, um eine Kontamination benachbarter Bereiche zu verhindern. Bei der Auswahl von Wärmerückgewinnungstypen ist zu gewährleisten, dass belastete Abluft nicht in die Zuluft rückgeführt werden kann.

11.3.4 Einhaltung der Raumluftfeuchte

Unter der Annahme, dass in den Klassenzimmern die SchülerInnen die einzige wesentliche Feuchtelast darstellen, kommt es bereits ab einer Luftqualitätsklasse von IDA 3 nach EN 13779:2008 und bei einem gemäßigten Klima unweigerlich zu einer meist mehrwöchigen Unterschreitung der Behaglichkeitsfeuchte von 30 %. In diesem Abschnitt sind die Maßnahmen zur Erhöhung der Raumluftfeuchte erläutert.

Begleitmaßnahmen: Wesentlicher Punkt zur Bewahrung der Raumluftfeuchte ist eine luftdichte Gebäudehülle zur Vermeidung des unkontrollierten Luftaustausches und eine bedarfsorientierte Luftmengenregelung, die einerseits die Luftmenge an die Belegung anpasst, und bei Abwesenheit die Lüftungsanlage auf den Grundlüftungsbedarf reduziert.

Wie in Abschnitt 5.2.5 erläutert, wird die Raumluft fälschlicherweise auch als zu trocken empfunden, wenn die Staubkonzentration erhöht ist und es zu einer Staubpyrolyse an heißen Oberflächen wie z.B. an zu klein dimensionierten Heizkörpern mit hohen Vorlauftemperaturen kommt. Grundsätzlich sollten daher Wärmeabgabesysteme eingesetzt werden, die niedrige Oberflächentemperaturen erlauben bzw. eine einfache und rasche Staubreinigung ermöglichen. Mehrreihige Heizkörper mit Konvektorlamellen, sowie nicht rasch offenbare Heizkörperverkleidungen sollten daher aus hygienischen Gründen prinzipiell vermieden werden.

Feuchterückgewinnung: Grundsätzlich muss bei Geräten mit Wärme-/Feuchterückgewinnung (Enthalpierückgewinnung) zwischen „Kondensat“-Rückgewinnern und „Wasserdampf“-Rückgewinnern unterschieden werden. „Kondensat“-Rückgewinner sind sowohl aus hygienischer Sicht, als auch aufgrund ihres geringen Kondensationspotentials nicht geeignet, die Raumlufffeuchte merklich anzuheben. „Wasserdampf“-Rückgewinner benötigen für die Feuchteübertragung keine Kondensation, sondern es genügt die Differenz des Feuchtegehaltes zwischen Außenluft und Abluft. Plattenwärmeübertrager mit dampfdurchlässigen Membranen wie sie bei Wohnraumlüftungsgeräten für die kombinierte Wärme- und Feuchteübertragung schon erhältlich sind, werden in der erforderlichen Dimension für die Anwendung im Klassenzimmerbereich noch nicht angeboten.

Bei der Überlegung zum Einsatz von Feuchterückgewinnungstechnologien müssen grundsätzlich etwas höhere Anschaffungskosten einkalkuliert werden. Informationen hinsichtlich spezieller Wartungsanforderungen oder Filterstufen für diese Systeme müssen bei den jeweiligen Herstellern angefordert werden.

Aktive Befeuchtung: Unabhängig davon, ob die Befeuchtung zentral oder dezentral bzw. von der Lüftungsanlage unabhängig direkt in den Klassen erfolgt, muss die Wartung gesichert werden, um einem hygienischen Risiko vorzubeugen. Aus energetischer Sicht ist die adiabate Befeuchtung durch Verdunstung (Zerstäuber, Nebler, Luftwäscher) mit aufbereitetem Wasser zu bevorzugen. Die Energiemenge zur Befeuchtung gegenüber Dampfbefeuchtern ist grundsätzlich fast gleich, bei Dampfbefeuchtern wird im Normalfall jedoch Strom als Energiequelle eingesetzt und bei Verdunstungsbefeuchtern erfolgt die Nachwärmung durch die kostengünstigere Heizung.

Zimmerpflanzen: Die Feuchteabgabe von Pflanzen ist direkt proportional zu Ihrer Aktivität (Photosynthese), die wiederum abhängig vom Lichtangebot ist. Die Konkurrenzsituation zwischen Personen und Pflanzen bezüglich Tageslicht erlaubt es nicht, die Pflanzen nahe den Fenstern aufzustellen. In Frage kommen daher nur Pflanzen mit geringem Lichtbedarf. Demnach ist die erzielbare Befeuchtungswirkung im Winter bei üblichen Klassengrößen und konventioneller künstlicher Beleuchtung stark begrenzt und daher nur selten zufriedenstellend. Umgekehrt ist die höhere Feuchteproduktion in den Sommermonaten eher nicht erwünscht. Ähnlich wie die aktive Befeuchtung benötigen Pflanzen eine fachgerechte Betreuung, und das auch in den Ferienzeiten. Unabhängig davon wird Pflanzen aber eine physiologisch positive Wirkung zugeschrieben. Bestimmte Pflanzengattungen ermöglichen außerdem den Abbau von Schadstoffen in der Raumluff.

Besondere Anforderungen an die Raumlufffeuchte: In manchen Fällen kann es unabhängig von den physiologischen Anforderungen auch spezielle Vorgaben an die Raumlufffeuchte geben, die Einrichtungen, Geräte oder Lehrmittel betreffen. Beispielsweise seien hier Musikschulen (Holzinstrumente) oder empfindliche elektronische Laboreinrichtungen (elektrostatische Entladung) angeführt, die die Einhaltung eines bestimmten Feuchtebereiches erfordern.

Tabelle 11.7: Einflussfaktoren auf die Raumlufffeuchte und Gegenmaßnahmen

<i>Risiko niedriger Raumlufffeuchte</i>	<i>Einfluss-Parameter*</i>			<i>Maßnahmen</i>
sehr hoch (<20% r.F. ohne Maßnahmen)	Luftdichtheit Klassenraum >2,0/h	inneralpines Klima, (Normaußentemp. < -18°C)	Raumluffqualität IDA 1	sorptive Feuchterückgewinnung oder/und Befeuchtung
erhöht (<25% r.F. ohne Maßnahmen)	Luftdichtheit Klassenraum 1,0...2,0/h	Klimazone mit alpinem Einfluss (Normaußentemp. -18...-10°C)	Raumluffqualität IDA 2	sorptive Feuchterückgewinnung oder Befeuchtung
mittel (<30% r.F. ohne Maßnahmen)	Feuchtepufferung im Raum eingeschränkt**	gemäßigtes Klima (Normaußentemp. > -10°C)	Raumluffqualität IDA 3	sorptive Feuchterückgewinnung oder kombinierte Feuchte-/CO2- Regelung

*bereits 1 erfülltes Kriterium ist ausreichend, um Maßnahmen zu setzen

**diffusionsdicht beschichtete bzw. lackierte Oberflächen, Glas, Metall, Kunststoffbeläge, etc.

Entfeuchtung: An feuchtheißen Junitagen kommt es nach den Erfahrungen der Evaluierung relativ häufig zu einer Überschreitung der oberen Behaglichkeitsgrenzen. Von einer Klimatisierung wird aber abgeraten, da die Nutzungsdauer dieser Einrichtung nur wenige Stunden im Jahr beträgt und daher im Regelfall nicht kosteneffizient erscheint. Zur Begrenzung der Raumlufffeuchte und -temperatur sollte die Nachlüftungsfunktion der Lüftungsanlage bzw. ein eigenes effizientes Nachlüftungssystem im Zusammenspiel mit speicherfähigen und feuchtesorptiven Raumbooberflächen geschaffen werden.

11.3.5 Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich

Um das Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich zu minimieren, ist der Platzierung und Auslegung der Luftauslässe bei Induktionssystemen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Quellluftsysteme sind bei den Behaglichkeitswerten bzw. dem Zugluftrisiko deutlich im Vorteil. Insbesondere bei niedrigen Raumhöhen und Ablenkungen an der Decke (z.B. Unterzüge) sind Induktionslüftungen kritisch. Auswahlkriterien für Quell- oder Induktionslüftung siehe Abschnitt 11.2.4.

11.3.6 Akustik

Schallabsorption: Die Nachhallzeit ist durch entsprechende Bedämpfung (z.B. Akustikdecke) auf $<0,5s$ bzw. die Werte der Gebäudevoraussetzung V2 der 61 Qualitätskriterien zu beschränken. Neben einer besseren Sprachverständlichkeit kann auch die Schalleinwirkung von Schallquellen im Raum (PC-Lüfter, Beamer, Luftdurchlässe, Lüftungsgerät) reduziert werden. Die üblichen Werte der Gehäuseabstrahlung von Geräten erfordern bei Situierung im Klassenzimmer eine zusätzliche schallgedämmte Einhausung.

Schallschutz vor Außenlärm: Um den maximalen Schallschutz geschlossener Fenster nutzen zu können, dürfen die Durchlässe von Außenluft und Fortluft den Schallschutz der Außenbauteile nicht schwächen. Dies wird durch entsprechende Schalldämpferauslegung sichergestellt. An stark lärmbelasteten Standorten sind zentrale Anlagen zu bevorzugen.

Schallschutz Lüftungsgerät: Um die Schallfortpflanzung von Gerät an das Luftleitungsnetz zu unterbinden, sind entsprechende an das Frequenzband des Gerätes angepasste Schalldämpfer in der Zuluft- und Ablufthauptleitung vorzusehen.

Telefonieschallschutz: Bei zentralen Anlagen muss die Schallübertragung zwischen den Klassenräumen bedingt durch die gemeinsamen Zuluft- und eventuell Abluftstränge mit entsprechenden Schalldämpfern soweit verringert werden, dass das einzuhaltende Schalldämmmaß der Rauntrennung zwischen den Klassenräumen nicht geschwächt wird.

Trittschallschutz: Bei im Fußbodenaufbau integrierten Luftleitungen muss beachtet werden, dass das Trittschalldämmmaß nicht geschwächt wird.

Schallschutz der Anrainer: Die Schallemissionen der Außen- und Fortluftdurchlässe sind durch Schalldämpfer oder durch geeignete Situierung soweit zu reduzieren, dass bestehende oder zukünftige Anrainer geschützt werden.

11.3.7 Brandschutz

Es wird auf die zum Teil noch immer örtlich unterschiedlichen Brandschutzvorschriften hingewiesen.

Brandabschnitte: Bei der Festlegung der Luftführung ist das Durchdringen unterschiedliche Brandabschnitte aus Kostengründen möglichst zu vermeiden.

Materialien von Komponenten: Bei der Auswahl der Komponenten ist die für den Anwendungsfall geforderte Brandschutzklasse zu beachten.

Allgemeine Hinweise betreffend Bauwerke sind in der OIB-Richtlinie 2, „Brandschutz“, Ausgabe: April 2007 zu finden.

11.3.8 Sommerlicher Überwärmungsschutz

Ein häufiger Kritikpunkt, der in der Akzeptanzanalyse angegeben wurde, war die Unzufriedenheit mit der Überwärmung der Klassenzimmer. Diese Komforteinbußen werden fast ausschließlich einer mangelhaften Funktion der Lüftungsanlage zugeschrieben. Diese Überwärmung kann bereits bei Außentemperaturen von unter 15°C auftreten. Auch wenn die Wärmerückgewinnung im Gerät umgangen wird, reicht die Luftmenge nicht aus, um den allein durch den Wärmeeintrag der SchülerInnen verursachten Temperaturanstieg der Raumluft zu verhindern. Wenn zu Unterrichtsbeginn bereits Raumtemperaturen um 24°C herrschen, kann meist eine Überwärmung nicht mehr verhindert werden. Zusätzliche solare Wärmeeinträge können von einer Lüftungsanlage keinesfalls zusätzlich abgeführt werden.

Bauliche Voraussetzungen: Erhebliche Wärmeeinträge erfolgen besonders an nicht Nord-orientierten Glasflächen durch direkte Sonneneinstrahlung. Aus diesem Grund müssen primär passive Maßnahmen in Form von automatisierten Außenbeschattungen, die auch außerhalb der Unterrichtszeit ohne Nutzereingriff wirksam sind, eingesetzt werden. Neben der Minimierung von Wärmeeinträgen trägt vor allem eine schwere Bauweise mit wärmespeicherfähigen Oberflächen wesentlich zur Dämpfung der Temperaturspitzen bei.

Nachtlüftung mittels Lüftungsanlage: Ergänzend zu den Betriebszeiten der Lüftungsanlage für den hygienischen Luftwechsel während der Unterrichtszeit kann eine Temperatursteuerung bei Bedarf die Anlage in der Nacht in Betrieb nehmen und unter Umgehung der Wärmerückgewinnung eine Nachtlüftungsfunktion übernehmen. Bei längerer Leitungsführung schränken die Transmissionsverluste der ungedämmten Zuluftleitungen den Kühleffekt für die Klassenzimmer deutlich ein. Der praktikablere Weg wäre daher, die Außenlufteinbringung direkt über motorisch offenbare Oberlichter in den Klassen zu realisieren, die über Kontakte nur den Abluftventilator des Lüftungsgerätes freigeben. Der Abluftventilator sollte bei der Nachtlüftungsfunktion auf höchster Stufe betrieben werden.

Eigenes Nachtlüftungssystem: Noch wirksamer als die Nachtlüftungsfunktion der Lüftungsanlage ist die Schaffung eines eigenen Systems, das es ermöglicht, noch höhere Luftwechselzahlen zu erreichen. Dazu müssen ausreichend dimensionierte Überströmöffnungen eingerichtet werden bzw. Klappen vom Klassenraum zum zentralen Gang hin öffnen. Aufgrund der meist kurzen Nutzungsdauer von wenigen Tagen bzw. Wochen ist allerdings die Kosteneffizienz solcher Systeme zu hinterfragen.

Kühlung/Klimatisierung: Siehe unter „Entfeuchtung“

11.3.9 Organisatorische Kriterien

Anlagenbetreuung: Für die Betriebssicherung der Anlage muss eine klare Trennung der Aufgaben erfolgen, da für die Anlagenbetreuung unterschiedliche Qualifikationen und Einsatzzeiten erforderlich sind (siehe Abschnitt 14.2.2).

Entscheidend für den laufenden Betrieb ist die gesicherte Zusammenarbeit zwischen geschultem Hauswart und dem Fachpersonal (technischer Support).

Optimierung: Aus den Erfahrungen der Evaluation sind gerade die ersten 1 bis 2 Jahre im Betrieb problematisch, da in dieser Zeit noch Einstell- und Optimierungsarbeiten notwendig sind. Gerade in dieser Zeit wird aber das Image einer Lüftungsanlage bei den Lehrern/Schülern gebildet. Daher ist es sehr wichtig, diese erste Phase mit gut ausgebildetem Fachpersonal in Kooperation mit der Schulleitung und dem Hauswart zu meistern. Der Hauswart alleine ist oft nicht in der Lage, die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Gebäude, der Heizung, der Lüftung und den Benutzern zu verstehen und verfällt bei nicht fachgerechter externer Betreuung in Resignation, die bis zur Abschaltung der Anlage führen kann.

11.3.10 Wirtschaftliche Kriterien

Wirtschaftliche Entscheidungen sollten immer anhand der Lebenszykluskosten und nicht an den Investitionskosten getroffen werden. Weitere Ausführungen zu den finanziellen Aspekten finden sie in Kapitel 13.

11.4 Die 61 Qualitätskriterien

Die 61 Qualitätskriterien aus Kapitel 9.4 sind ein wesentlicher Bestandteil des Planungsleitfades.

12 Ausschreibung

Alle für die Anlage relevanten 61 Qualitätskriterien können natürlich als Gesamtheit integraler Bestandteil der Ausschreibung gemacht werden. Für die Ausschreibung bzw. Auftragsvergabe ist die konkrete Definition der folgenden vier Anforderungen jedoch besonders essentiell, da die Normen teils unterschiedlich sind bzw. nur als Bandbreite (z.B. Luftqualität in EN 13779:2008 bzw. ÖNORM H 6039) enthalten sind, aber keine eindeutigen Vorgabe machen:

1. Luftqualität (QK1) und Feuchteanforderung (QK3)
2. Maximale Schallbelastung (QK4)
3. Energieeffizienz
 - a. Wärmerückgewinnungsgrad (QK 27)
 - b. Strombedarf der Gesamtanlage (QK 28)
 - c. Art bzw. Strombedarf des Frostschutzes (QK 21, 22 bzw. 40)
4. Schutz vor sommerlicher Überwärmung (regelbarer Wärmetauscher bzw. regelbarer Bypass) (QK 38)

Es ist bei den einzelnen Kriterien auch festzulegen, ob die Standardwerte oder Zielwerte gefordert werden. Eine Möglichkeit besteht auch darin, sich die Zielwerte jeweils als Variante anbieten zu lassen.

Ein Punkt der auch schon in der Ausschreibung eingefordert werden sollte ist die Berechnung der laufenden Betriebskosten, wie Stromkosten, Kosten für den Filtertausch, Kosten für den Wartungsvertrag, ... sowie die notwendigen, frühzeitigen Vorgaben für andere Gewerke.

13 Finanzielle Betrachtung

Mechanische Belüftungsanlagen bedeuten einerseits Investitionskosten und andererseits laufende Betriebskosten. Laufende Einsparungen ergeben sich theoretisch aus den eingesparten Heizkosten durch die Wärmerückgewinnung. Grundsätzlich sind Lüftungsanlagen nicht primär aus dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit, sondern vielmehr aus der schlichten Notwendigkeit heraus, lerngerechte Verhältnisse zu schaffen, zu sehen. Denn sonst müsste man konsequenterweise auch die Beheizung eines Schulgebäudes einstellen, da auch diese nicht wirtschaftlich ist, und ebenfalls der Herstellung lerngerechter und komfortabler Verhältnisse dient. Ausreichende Luftqualität muss, wie die Sicherstellung von ca. 20° Raumtemperatur, eine Selbstverständlichkeit darstellen, die dann auf die effizienteste Weise umgesetzt wird.

13.1 Investitionskosten

Bei den Investitionskosten ergeben sich je nach Lüftungskonzept auch Einsparungen an den immer notwendigen Entlüftungen der Sanitärbereiche, die man gegebenenfalls der Klassenzimmerlüftung gegen rechnen kann.

Die Investitionskosten bei den erhobenen Anlagen liegen in der Bandbreite von:

- Dezentrale Anlage: € 5.400,-- bis 8.200,-- pro Klasse (exkl. MWSt.)
- Zentrale Anlagen: € 5.600,-- bis 16.750,-- pro Klasse (exkl. MWSt.)

Wobei bei den zentralen Anlagen meist auch noch das Konferenzzimmer, oder auch die Aula und Sanitärräume in das Gesamtkonzept einbezogen sind. Für die spezifische Kostenermittlung wurden jedoch nur die Klassenzimmer (inkl. Physik, EDV-Räume, ...) herangezogen. Die Werte sind daher nur bedingt vergleichbar. Zudem ist bei der oberen Bandbreite von zentralen Anlagen auch eine Befeuchtung inkludiert, und eine Turnhalle, die ebenfalls nachgeordnet mitversorgt wird, nicht herausgerechnet.

Die Kosten passen grundsätzlich mit den von Muss (2004) angeführten Herstellkosten zusammen. Dort sind die Herstellkosten für eine dezentrale Anlage mit 90 bis 170 €/m² und für eine zentrale Anlage mit 80 bis 140 €/m² angeführt. Dies entspricht bei einer typischen Klassengröße von 62,5 m² für dezentrale Anlagen Kosten zwischen € 5.600,-- und € 10.600 sowie für zentrale Anlagen zwischen € 5.000,-- und € 8.750,-- pro Klasse.

13.2 Betriebskosten

Betriebskosten fallen insbesondere an für:

- Strombedarf
- Überwachung – Betrieb
- Instandhaltung

13.2.1 Strombedarf

Der Strombedarf von Lüftungsanlagen hängt insbesondere von der gewählten Antriebstechnik (EC-Motoren) und dem gesamten Druckverlust ab. Siehe 44 Qualitätskriterien.

Bei angenommenen 1.200 Schulstunden und der zusätzlichen Laufzeit zum Vorspülen ergeben sich jährlich ca. 1.300 Betriebsstunden für eine dezentrale Klassenzimmerlüftung. Bei einer zentralen Anlage ist die Gesamtlaufzeit aufgrund der unterschiedlichen Nutzung der Räume normalerweise deutlich höher. Für die einzelne Klasse ergeben sich bei entsprechender Luftmengenregelung aber dennoch keine höheren Betriebsstunden bzw. Gesamtluftmengen.

Bezogen auf die gelieferte Luftmenge und die unterschiedlichen Energieeffizienzklassen ergeben sich Stromkosten pro Klasse mit 25 SchülerInnen nach folgender Aufstellung:

Tabelle 13.1: Strombedarf

Spezifischer Luftmenge pro Schüler:	30	m ³ /h
Anzahl SchülerInnen:	25	P.
Gesamte Luftmenge:	750	m ³ /Std.
Betriebsstunden:	1.300	Std.
Stromkosten (exkl. MWSt.):	0,16	€/kWh

SPF-Kategorie	P _{SFP min} [W*m ⁻³ *h]	P _{SFP max} [W*m ⁻³ *h]	Strom min. kWh/a	Strom max. kWh/a	Kosten min. €/a	Kosten max. €/a
SFP 1 ^(*)	<	0,14	<	137	<	22
SFP 2 ^(*)	0,14	0,21	137	205	22	33
SFP 3 ^(*)	0,21	0,35	205	341	33	55
SFP 4 ^(*)	0,35	0,56	341	546	55	87
SFP 5 ^(*)	0,56	0,83	546	809	87	129
SFP 6 ^(*)	0,83	1,25	809	1.219	129	195
SFP 7 ^(*)	1,25	>	1.219	>	195	>

(*) SFP.....spezifische Ventilatorleistung - Effizienzklasse

Die derzeit realistisch erreichbaren Verbrauchswerte für die Gesamtanlage liegen im Bereich 0,20 bis 0,35 W/(m³h) (Achtung: SFP-Werte beziehen sich eigentlich jeweils auf einen Ventilator) und bedeuten daher Stromkosten von ca. € 33,-- bis € 55,-- pro Klasse und Jahr. Wenn die Lüftungsanlage nur im Winterhalbjahr in Betrieb ist, halbieren sich die Kosten entsprechend. Die Wärme der Ventilatoren kommt je nach Geräteaufbau meist zwischen 50 % und 80 % dem Gebäude zugute. Wenn sie für die sommerliche Nachlüftung betrieben wird, erhöhen sich die Kosten entsprechend.

13.2.2 Instandhaltung

Die Instandhaltung kann nach der ÖNORM M 8100:1985 grundsätzlich in die drei folgenden Bereiche eingeteilt werden:

- Wartung (versierte Hausbetreuung und/oder Wartungsfirma)
- Inspektion (Fachfirma)
- Instandsetzung – Überholung bzw. Reparatur (Fachfirma)

Für die gesamten Instandhaltungskosten von Klassenzimmerlüftungen liegen bei den Schulen (noch) keine Werte vor. Typische Werte für die jährlichen Instandhaltungskosten von Lüftungsanlagen in Bürogebäuden liegen bei ca. 3 bis 4 % der Investitionskosten (Quelle: IBI-Datenbankprojekt der FH Kufstein). Die wichtigsten kostenrelevanten Punkte für eine Schule sind:

Filterkosten: Die Filterkosten bei den untersuchten Anlagen liegen in der Bandbreite von:

- Für dezentrale Anlagen ca. € 40,-- bis 80,-- pro Schulklasse und Jahr (exkl. MWSt.)
- Für zentrale Anlagen ca. € 400,-- bis 600,-- für die gesamte Schule bzw. 25–50,-- pro Klasse und Jahr (exkl. MWSt.)

Anlagenbetreuung (Wartung, z.B. Zeit für Filtertausch): Die laufende Betreuung durch die Hausbetreuung der Anlagen ohne Wartungsvertrag liegen nach den Angaben der Hausbetreuer (Schulwarte) in der Bandbreite von:

- Für dezentrale Anlagen 0,25 bis 2 Std. pro Schulklasse und Jahr
- Für zentrale Anlagen 4 bis 50 Std. pro Monat für die gesamte Schule bzw. 0,3 bis 2 Std. pro Klasse

Instandsetzung: Für die Instandsetzungskosten alleine liegen derzeit ebenfalls noch keine Erfahrungen bei den Schulen vor. Sie sollten sich aber auch nicht wesentlich von den allgemeinen Ansätzen aus dem Lüftungsbereich unterscheiden.

13.3 Einsparungen

Einsparungen ergeben sich theoretisch vor allem durch die Wärmerückgewinnung. Theoretisch, weil sich gegenüber einer ungenügenden Lüftung, wie sie bei einer Fensterlüftung immer gegeben ist, in der Praxis deutlich geringere bzw. keine Einsparungen ergeben. Würde man allerdings die gleiche Luftmenge bzw. die gleiche CO₂-Qualität wie bei einer mechanischen Lüftung durch konsequente Fensterlüftung tatsächlich umsetzen, würden etwa folgende Einsparungen zum Tragen kommen. Wobei diese Einsparungen auch vom Gebäude, insbesondere Luftdichtheit und Anteil bzw. Nutzungsmöglichkeit der solaren und inneren Gewinne an der Gesamtbilanz, abhängen. Rein auf der Verlustseite ergeben sich beim Standardklima der Ö-NORM B 8110-5:2007 von 3.400 Kd Heizgradtagen folgende theoretische Einsparungen bei den Lüftungsverlusten:

Tabelle 13.2: Eingesparte Heizkosten

Spezifischer Luftmenge pro Schüler:	30	m ³ /h
Anzahl SchülerInnen:	25	P.
Gesamte Luftmenge:	750	m ³ /Std.
Betriebsstunden im Winterhalbjahr:	650	Std.
Gesamtluftmenge Winterhalbjahr:	487.500	m ³
Durchschnittliche Luftmenge Winterhalbjahr:	111	m ³ /h
Heizgradtage:	3.400	Kd
Lüftungsverluste ohne Wärmerückgewinnung:	3.088	kWh
Wärmekosten inkl. Verluste (exkl. MWSt.):	0,080	€/kWh

Rückwärmezahl %	*Eingesparte Lüftungsverluste kWh/a	*Eingesparte Heizkosten €/a
60	1.853	148
70	2.162	173
80	2.470	198
90	2.779	222
100	3.088	247

*Gegenüber theoretischer Fensterlüftung mit gleicher Luftmenge

Eine Wärmerückgewinnung hat aber auch Einfluss auf den Ausnutzungsgrad der Gewinne. Diese Verringerung des Ausnutzungsgrades ist aber sehr gebäudespezifisch und daher nur individuell im Rahmen der Energieausweisberechnung zu ermitteln.

13.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Grundsätzlich sollte eine mechanische Klassenzimmerlüftung bei einem Neubau oder einer Sanierung Standard sein und sich die Wirtschaftlichkeitsberechnung auf die Auswahl von verschiedenen mechanischen Lüftungssystemen beschränken. Ein wirtschaftlicher Vergleich einer mechanischen Lüftungsanlage mit den ungenügenden Luftverhältnissen einer Fensterlüftung ist nur bei Einbeziehung bzw. Bewertung der höheren Luftqualität bzw. der eingesparten Kosten durch die höhere Luftqualität bzw. die damit verbesserte Lernsituation fair.

13.4.1 Mechanische Lüftung gegenüber Fensterlüftung

Wenn man als vereinfachenden Ansatz davon ausgeht, dass die laufenden Kosten einer mechanischen Klassenzimmerlüftung mit Wärmerückgewinnung durch die Energieersparnis in etwa ausgeglichen werden, so bleiben als zu finanzierender Beitrag nur die Investitionskosten übrig. Es ergeben sich dann als grobe Abschätzung folgende Verhältnisse.

Bei Investitionskosten von ca. € 6.000,-- pro Klasse bedeutet dies auf die Lebensdauer der Anlage von ca. 20 Jahren einen Investitionskostenanteil von € 300,-- pro Jahr bzw. bei 25 Schülern pro Klasse einen Investitionsbeitrag von € 12,-- pro Schüler und Jahr bzw. € 1,-- pro Schüler und Monat (statisch).

Über einen Euro pro Monat für einen guten Lernerfolg unserer Kinder, bessere Arbeitsbedingungen für das Lehrpersonal und die Entlastung der Umwelt sollte man an sich schon nicht diskutieren müssen. Wenn man aber die durchschnittliche Leistungsminderung durch schlechte Luftqualität mit fünf Prozent ansetzt (siehe Kapitel CO₂-Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit), so entspricht diese bei ca. 1.200 Unterrichtseinheiten pro Jahr einem Gegenwert von 60 unproduktiven Einheiten. Bei Gesamtkosten pro Unterrichtseinheit für die Lehrperson von ca. € 40,-- entspricht dies einem finanziellen „Schaden“ von € 2.400,-- pro Jahr. D.h. unter Einbeziehung des höheren Lernerfolges lässt sich eine Lüftungsanlage mit Investitionskosten von € 6.000,-- pro Klasse ganz klar auch wirtschaftlich argumentieren. Die statische Amortisationszeit liegt unter Einrechnung des Lernerfolges bei knapp über drei Jahren.

Gesundheitliche Aspekte wie z.B. weniger Krankenstände des Lehrpersonals, gesteigertes allgemeines Wohlbefinden durch eine verbesserte Raumluft und die Umweltentlastung sind in dieser Betrachtung noch gar nicht mit einbezogen.

13.4.2 Zentral gegenüber dezentral

Grundsätzlich ergibt die Evaluierung auch von der Kostenseite keine eindeutige Aussage zu zentral oder dezentral. Durch die Möglichkeit der kaskadischen Nutzung der Luft und der damit verbundenen Verringerung der Gesamtluftmengen, den Vorteilen bei der Wartung und bei den Filterkosten wird im Neubau eine zentrale Anlage bei den meisten Grundrissen leichte Vorteile haben. In vielen Fällen der (Teil)-Sanierung werden sich oft nur dezentrale Lösungen verwirklichen lassen. Es sollte jedoch auch von der Kostenseite immer jeweils eine dezentrale und zentrale Lösung konkret gegenübergestellt werden.

14 Forschungsbedarf/Entwicklungsbedarf

Neben der allgemeinen Weiterentwicklung der Lüftungstechnik ergibt sich aus der Erfahrung der Evaluierung, speziell für Klassenzimmer, in folgenden Bereichen Entwicklungs- bzw. Forschungsbedarf:

- Optimierte Luftmengen für Planung und Betrieb
- Gesicherte Luftfeuchtigkeit
- Optimierte Regelungsstrategien
- Energetische Gesamtbewertung (Einteilung in Klassen)
- Volkswirtschaftliche Auswirkungen

Optimierte Luftmengen für Planung und Betrieb: Diskussionen bestehen derzeit vor allem noch über die Luftmengen, die für die Erreichung einer guten Luftqualität, z.B. 1.000 ppm CO₂, unter Berücksichtigung der Lüftungseffektivität erforderlich sind. Es gibt zwar einige Berechnungstools mit denen der CO₂-Gehalt abhängig von Luftmenge, Raumgröße, Luftdichtheit des Gebäudes, Personenanzahl, Alter und Aktivitätsgrad der Schüler berechnet werden kann. Diese Programme gehen aber immer von einer 100%igen Durchmischung der Luft aus und berücksichtigen nicht die unterschiedliche Belüftungseffektivität von Quellluft- oder Induktionssystemen. Ein möglichst einfaches Simulationsprogramm, das auch die Lufteinbringung und die rauminternen Strömungen (z.B. Auftrieb an Personen, Heizflächen, solare Einstrahlung) berücksichtigt und daraus die tatsächliche Luftqualität in „Kopfhöhe“ ermittelt und damit eine Optimierung der planerischen Luftmengen, abhängig von der Lüftungseffektivität, ermöglicht, ist dem Projektteam derzeit noch nicht bekannt. Als Basis dazu bedürften auch die Werte über die Aktivitätsgrade in einer Schulklasse bei typischen Situationen noch einer genaueren Verifizierung. Zur Validierung eines entsprechenden EDV-Programms bedürfte es auch vertiefender Messungen für unterschiedliche Lüftungskonzepte.

Gesicherte Luftfeuchtigkeit: Untersuchungsbedarf besteht auch noch über die Vor- und Nachteile verschiedener Lösungsmöglichkeiten der Feuchteproblematik in Klassenzimmern, da mit einer höheren Luftqualität und dem damit notwendigen höheren Luftaustausch grundsätzlich die Problematik von zu geringen relativen Luftfeuchtigkeiten im Winter ansteigt. Ein einfaches, kostenloses EDV-Programm zur Ermittlung dafür, wie viele Stunden eine Zielwertunterschreitung der Feuchte bei typischen klimatischen Verhältnissen und unterschiedlichen Feuchterückgewinnungsgraden zu erwarten sind, wäre wünschenswert.

Optimierte Regelungsstrategien: Entwicklungsbedarf besteht insbesondere auch im Bereich angepasster, kostengünstiger Steuerungen und Regelungen bei der Luftqualitätsmessung bzw. der Luftmengendosierung. Bei der Quantifizierung der Vorteile einer optimierten Regelung bzw. einer regelbaren Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung auf die Gesamteffizienz und die Überwärmungsthematik ergeben sich derzeit noch offene Punkte.

Bewertung der Gesamteffizienz: Derzeit gibt es kein Tool, das die Gesamteffizienz einer Lüftungsanlage inkl. Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung, Vor- bzw. Nacherwärmung und dem gesamten Strombedarf beschreibt und in übersichtliche Effizienzklassen einteilt. Basis einer Bewertung könnten die Berechnungen in der DIN 18599:2007 und der ÖNORM H 5057:2007, sowie die Ansätze des Herstellerverbandes Raumluftechnischer Geräte e.V. mit dem TÜV-Süd bilden.

Volkswirtschaftliche Auswirkungen: Forschungsbedarf besteht auch noch bei der Quantifizierung der Leistungssteigerung, der allgemeinen Auswirkungen auf die Unterrichtssituation (z.B. Verhalten), bei den gesundheitlichen Auswirkungen aufgrund der verbesserten Luftqualität durch mechanische Klassenzimmerlüftungen und der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Auswirkungen bzw. Vorteile.

15 Resümee

Schulneubauten bzw. Sanierungen ohne den Einbau einer mechanischen Lüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung sind nicht mehr zeitgemäß. Der Nachweis, dass mit einer Fensterlüftung keine ausreichende Luftqualität erreicht werden kann, wurde durch Studien in Österreich, Deutschland und der Schweiz eindeutig erbracht. Die in verschiedenen Studien ermittelten Leistungseinbußen sind mit 4–10 % signifikant. Dass die bisher umgesetzte Anlagenqualität teilweise noch zu wünschen übrig lässt, ist einerseits auf die bisher geringe Erfahrung der Planer und andererseits auf unzureichende Vorgaben der Auftraggeber zurückzuführen. Zahlreiche sehr gute Beispiel zeigen aber auch, dass eine gute Klassenzimmerlüftung machbar ist. Mit den 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen besteht nun für die Auftraggeber die Möglichkeit die Anlagenqualität hinreichend genau zu definieren. Der Planungsleitfaden unterstützt die konzeptionellen Überlegungen der Planer und soll zu Anlagen führen, die einerseits allen schulischen Ansprüchen gerecht werden und dennoch finanziell im Rahmen bleiben. Ohne zusätzliche (Investitions-)Kosten ist eine lerngerechte Luftqualität in Klassenzimmern jedoch nicht erreichbar. Doch der Investitionsbetrag von ca. 1 € pro SchülerIn und Monat sollte uns der Lernerfolg unserer Kinder und die verbesserten Arbeitsbedingungen des Lehrpersonals wert sein. Unter Einrechnung der verbesserten Lernerfolge ist eine mechanische Klassenzimmerlüftung auch wirtschaftlich von Vorteil. Die Notwendigkeit bzw. der „Wert“ einer guten Gebäudebetreuung zeigt sich bei einer mechanischen Klassenzimmerlüftung besonders deutlich.

Vielen Dank – insbesondere an die evaluierten Schulen – und ALLEN die uns bei der Umsetzung des Projektes unterstützt haben. Über Rückmeldungen und weitere Verbesserungsvorschläge des Planungsleitfaden bzw. der 61 Qualitätskriterien würden wir uns sehr freuen. Rückmeldungen an: andreas.greml@andreasgreml.at

Das Projektteam:

- DI Andreas Greml (PL) – FHS-KufsteinTirol bzw. TB Andreas Greml
- DI Ernst Blümel u. DI (FH) Arnold Gössler – AEE INTEC
- DI Roland Kapferer – ENERGIE TIROL
- Ing. Wolfgang Leitzinger – arsenal research
- Mag. Juergen Suschek-Berger – Interuniversitäres Forschungszentrum Graz
- DI Peter Tappler – IBO/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems

Projekthomepage:

- www.komfortlüftung.at bzw. www.xn--komfortlüftung-3ob.at – Klassenzimmerlüftung



16 Abkürzungsverzeichnis

EPBD	Europäische Gebäudedirektive (European Building Directive)
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
CO ₂	Kohlendioxyd
EN	Europanorm
EWT	Erdwärmetauscher
GLT	Gebäudeleittechnik
ISO	International Standard Organisation
L-EWT	Luft-Erdwärmetauscher
ÖISS	Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau
S-EWT	Sole-Erdwärmetauscher
SFP	Spezifischer Strombedarf des Ventilators (Specific Fan Power)
TVOC	Gesamt VOC (Total Volatile Organic Compounds)
VOC	Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe

17 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Übersichtskarte aller Schulen und Kindergärten mit Klassenzimmerlüftungen	18
Abbildung 3.1: Übersichtskarte der 16 Untersuchungsanlagen in Österreich	20
Abbildung 4.1: Vergleich im d2 Test: bei niedriger CO ₂ -Konzentration zeigen sich signifikant bessere Werte im d2-Test als unter hoher CO ₂ -Konzentration. (Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007).....	26
Abbildung 4.2: Die Leistungsfähigkeit (in Prozent) bei Büroarbeit in Abhängigkeit der Unzufriedenheit mit der Raumluftqualität.....	26
Abbildung 5.1: Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und mittlerer Oberflächentemperatur umschließender Flächen (Rechnagel 01/02)	33
Abbildung 5.2: Operative Raumtemperatur abhängig von der Außentemperatur (DIN 1946-2:1994)..	34
Abbildung 5.3: Diagramm mit eingetragenem Behaglichkeitsfeld abhängig von Temperatur und Feuchte. (Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)	36
Abbildung 5.4: Der Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die empfundene Qualität reiner Luft. (Rechnagel et al. 2007/2008)	37
Abbildung 5.5: Vergleichseinheit für die Verschmutzung der Luft „olf-Wert“ (Rechnagel, 01/02).....	39
Abbildung 5.6: Abhängigkeit des Geruchspegels und der Unzufriedenheit. (Rechnagel 01/02)	40
Abbildung 5.7: Korrelation zwischen CO ₂ -Konzentration als Indikator für anthropogene Emissionen und Anzahl der unzufriedenen Personen (PD in %) in einem Raum (nach ECA 1992)	43
Abbildung 5.8: Eingabemaske einer Beispielberechnung mit CO ₂ -Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes	46
Abbildung 5.9: Kennwerte einer Beispielberechnung mit CO ₂ Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes.....	47
Abbildung 5.10: Eingabemaske des Excel Programms zur Berechnung der CO ₂ -Konzentration in Innenräumen und Schulen – Innenraum Mess- und Beratungsservice	48
Abbildung 5.11: Auswertungsgrafik des Excel Programms zur Berechnung der CO ₂ -Konzentration in Innenräumen und Schulen – Innenraum Mess- und Beratungsservice	49
Abbildung 5.12: Gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO ₂	51
Abbildung 5.13: Gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Land mit 380 ppm CO ₂ .	51
Abbildung 5.14: Ganz geöffnete Fenster in der Pause (10-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO ₂	52
Abbildung 5.15: Ganz geöffnete Fenster in der Pause mit Querlüftungsmöglichkeit (20-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO ₂	53
Abbildung 5.16: 360 m ³ Raumvolumen, gekippte Fenster in der Pause (Querlüftung, 5-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO ₂	54
Abbildung 5.17: 360 m ³ Raumvolumen, ganz geöffnete Fenster in der Pause (10-facher LW), Stadt mit 450 ppm CO ₂	55
Abbildung 5.18: Beispielberechnung mit CO ₂ -Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, mit unterschiedlichen Aktivitätsgraden bei 25 m ³ /h	56
Abbildung 5.19: Beispielberechnung mit CO ₂ -Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, mit unterschiedlichen Aktivitätsgraden bei 35 m ³ /h	56
Abbildung 5.20: Beispielberechnung mit CO ₂ -Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes: Schüler 10–14 Jahre, Ruhe; 15 bis 35 m ³ /h	57
Abbildung 5.21: Beispielberechnung mit CO ₂ -Modellrechner des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes. Schüler 10–14 Jahre, leichte Aktivität, 15 bis 45 m ³ /h.....	57
Abbildung 5.22: Jahresmittelwerte CO ₂ -Konzentration in Österreich (Luftgütemessungen Umweltbundesamt, Jahresbericht 2005).....	60

Abbildung 5.23: Abbildung 2.5: A-, B- und C-Bewertungskurven	64
Abbildung 6.1: Darstellung von Luftarten nach ÖNORM EN 13779:2008	69
Abbildung 6.2: Darstellung des Aufenthaltsbereiches lt. ÖNORM EN 13779:2008.....	70
Abbildung 6.3: Einteilung der Lüftungsarten (vgl. Recknagel et al. 2007/2008)	72
Abbildung 6.4: Schematische Darstellung einer zentralen Lüftungsanlage (www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)	74
Abbildung 6.5: Schematische Darstellung einer semizentralen Lüftungsanlage (www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)	79
Abbildung 6.6: Schematische Darstellung einer dezentralen Lüftungsanlage (/www.energiesparschule.de; Darstellung adaptiert)	80
Abbildung 6.7: Einteilung der Lüftungsarten (vgl. Recknagel et al. 2007/2008)	85
Abbildung 6.8: Schadstofftransport bei Quelllüftung (REHVA Guidebook Nr. 1).....	86
Abbildung 6.9: maximale Strömungsgeschwindigkeiten vor Luftdurchlässen und im Aufenthaltsbereiche (vgl. REHVA Guidbook Nr. 1).....	86
Abbildung 6.10: Schadstoffverteilung Quelllüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)	87
Abbildung 6.11: Geschwindigkeitsverteilung von Luftdurchlässen in Abhängigkeit von Einströmrichtung und Entfernung (REHVA Guidbook Nr. 1).....	88
Abbildung 6.12: Kurzschluss bei Quelllüftung im Heizfall (REHVA Guidebook Nr. 1).....	88
Abbildung 6.13: Grundprinzip der Mischlüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)	89
Abbildung 6.14: Schadstoffverteilung Mischlüftung (REHVA Guidebook Nr. 1)	90
Abbildung 6.15: Verdrängungslüftung – Verdünnungslüftung – Kurzschlusslüftung (Wikipedia – Freie Enzyklopedie).....	90
Abbildung 6.16: Aufteilung der Lüftungseffektivität auf die Bereiche Lüftererneuerung und Schadstoffbeseitigung (Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin).....	91
Abbildung 6.17: Lüftungswirksamkeit von Raumdurchströmungen (REHVA Guidebook Nr. 1).....	92
Abbildung 6.18: Einteilung der Lüftungswirksamkeit in Abhängigkeit des Lüftungsprinzips (Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller: TU Berlin)	92
Abbildung 6.19 a–d: Raumdurchströmung in der Klasse 3a.....	94
Abbildung 6.20 a–d: Raumdurchströmungen in der Klasse 3b.....	95
Abbildung 6.21: Rekuperative Wärmetauscher – typische Rückwärmezahl (Fa. Paul).....	96
Abbildung 6.22 a und b: Plattenwärmetauscher – Symbol und Bild	97
Abbildung 6.23: Einteilung der Wärmetauscher (vgl. ÖNORM B 8110-6: 2007, Tabelle 14)	97
Abbildung 6.24: Regenerative Wärmetauscher – typische Rückwärmezahlen (Fa. Paul)	98
Abbildung 6.25: Rotor mit Sorption – Symbol und Bild	99
Abbildung 6.26: Umschalt Speicher – Symbol.....	99
Abbildung 6.27: Kompakt Wärmetauscher – Kreislaufverbundsystem – Symbol.....	100
Abbildung 6.28: Kostenbilanz eines Luftfilters F7 über einen Zeitraum von 10 Jahren (Eurovent Rec 10, Jan. 1999) Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01.2008	103
Abbildung 6.29: Antriebe (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008).....	104
Abbildung 6.30: Antriebe (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008).....	104
Abbildung 6.31: Riemenantrieb (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008).....	105
Abbildung 6.32: Direktantrieb (Quelle: www.rlt-info.de, Stand 01. 2008).....	106
Abbildung 6.33: Energieeffizienzklassen A und B (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)	112

Abbildung 7.1: Grafische Darstellung der Ergebnisse Summe-VOC geordnet nach aufsteigenden Konzentrationen.....	118	
Abbildung 7.2: Grafische Darstellung der Ergebnisse von Brandl et al. 2001 (es ist die unterschiedliche Skalierung der Werteachse zu beachten)	122	
Abbildung 7.3: Grafische Darstellung der Ergebnisse von Land OÖ 2003a (es ist die unterschiedliche Skalierung der Werteachse zu beachten)	123	
Abbildung 8.1: Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage zu Beginn und jetzt – LehrerInnen	126	
Abbildung 8.2: Zuverlässigkeit der Lüftungsanlage – LehrerInnen.....	127	
Abbildung 8.3: Bedienerfreundlichkeit der Lüftungsanlage – LehrerInnen	127	
Abbildung 8.4: Aufgetretene Probleme bei der Lüftungsanlage – LehrerInnen.....	128	
Abbildung 8.5: Einschränkung im Arbeitskomfort durch die Lüftungsanlage – LehrerInnen	129	
Abbildung 8.6: Nutzung der Regelungsmöglichkeiten der Lüftungsanlage – LehrerInnen.....	129	
Abbildung 8.7: Information über den Umgang mit der Lüftungsanlage – LehrerInnen	130	
Abbildung 8.8: Beurteilung der erhaltenen Informationen zur Lüftungsanlage – LehrerInnen	131	
Abbildung 8.9: Wunsch nach genauerer Information zur Lüftungsanlage	132	
Abbildung 8.10: Assoziationen zur Lüftungsanlage – LehrerInnen.....	133	
Abbildung 8.11: Aufgetretene Probleme – Lüftungsanlage ist schuld – SchülerInnen	135	
Abbildung 8.12: Gesamtnote der Lüftungsanlage – SchülerInnen	136	
Abbildung 8.13: Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage – Schulwarte.....	137	
Abbildung 8.14: Regelung der Lüftungsanlage – Schulwarte	139	
Abbildung 8.15: Abstellen der Lüftungsanlage – Schulwarte.....	139	
Abbildung 8.16: Wechsel der Filter bei der Lüftungsanlage – Schulwarte.....	140	
Abbildung 8.17: Information über den Umgang mit der Lüftungsanlage – Schulwarte.....	141	
Abbildung 8.18: Wunsch nach genauerer Information zur Lüftungsanlage – Schulwarte	141	
Abbildung 8.19: Assoziationen zur Lüftungsanlage – Schulwarte	143	
Abbildung 8.20: Hauptgrund für die Installation der Lüftungsanlage	144	
Abbildung 8.21: Endgültige Entscheidung für die Lüftungsanlage.....	145	
Abbildung 8.22: Assoziationen zur Lüftungsanlage – ArchitektInnen etc.	146	
Abbildung 9.12: Sanierter Altbau	Abbildung 9.3: Neuer Zubau	154
Abbildung 9.4: Ansaugung	Abbildung 9.5: Lüftungsgerät.....	155
Abbildung 9.6: Wärmetauscher	Abbildung 9.7: Filter.....	156
Abbildung 9.8: Luftführung Zu- und Abluft	Abbildung 9.9: Bedienungseinheit	156
Abbildung 9.10: Klassenraum 1	Abbildung 9.11: Klassenraum 2	156
Abbildung 9.12: Fortluftführung		156
Abbildung 9.13: CO ₂ -Verlauf		157
Abbildung 9.14: Temperatur- und Feuchteverlauf.....		158
Abbildung 9.15: Frequenzanalyse.....		158
Abbildung 9.16: Vertikaler und horizontaler Abstand der Außenluftansaugung und dem Fortluftauslass nach ÖNORM 13779, (2008).....		177
Abbildung 9.17: Wirkungsbandbreite eines Erdwärmetauschers (Quelle: DLR)		180
Abbildung 9.18: Benutzeroberfläche des Auslegeprogramms PHLuft vom Passivhausinstitut, www.passiv.de		182

Abbildung 9.19: Austrittstemperaturverlauf des Luft-EWT laut Berechnung mit PHLuft vom Passivhausinstitut, www.passiv.de	183	
Abbildung 9.20: Darstellung der für die RLT-Richtlinie 1 berücksichtigten Normen und Richtlinien. (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007) n.....	187	
Abbildung 9.21: Maximale CO ₂ -Werte in den Klassenzimmern.....	217	
Abbildung 9.22: Geordnete Schallwerte dB(A).....	221	
Abbildung 9.23: Düsenabstände etwas zu gering – Abhilfe „Auffächerung“ der Strahlen.....	223	
Abbildung 9.24: Überdimensionierung der Kugeldüsen).....	223	
Abbildung 9.25: Ein früheres Fenster	Abbildung 9.26: Eine sehr großzügig.....	224
Abbildung 9.27: Ansaugung einer dezentralen Anlage	Abbildung 9.28: Ansaugung über Gitter in der Drempe wand des Spitzbodens.....	224
Abbildung 9.29: Zu geringe Ansaughöhe	Abbildung 9.30: Unvollendete Ansaugung.....	225
Abbildung 9.31 a und b: Ansaugsituation durch Kellerschacht:	225	
Abbildung 9.32: Außenluftansaugung und Fortluftauslass.....	226	
Abbildung 9.33: „Kurzschluss“ zwischen Ab- und Zuluft beim Kaltrauchtest (Quelle: Heiduk, 2008). 227		
Abbildung 9.34: Änderungen der Abluftrohre um „Kurzschluss“ zu verhindern (Quelle: Heiduk, 2008).....	227	
Abbildung 9.35 a–c: Speziell ausgeführte Außenluftansaugung/Fortluftauslass.....	227	
Abbildung 9.36: Außenluftansaugung mit freiem Querschnitt nur in der Größenordnung des Kanalquerschnittes.....	229	
Abbildung 9.37: Großzügig dimensionierter, vor Durchfeuchtung geschützter Filter (F6).....	229	
Abbildung 9.38: Fortluft über einen Kellerschacht	Abbildung 9.39: Fortluftführung über Dach.....	230
Abbildung 9.40: Stehende (jeweils unten).....	234	
Abbildung 9.41: Kassettenfilter F7 einer zentralen Anlage	Abbildung 9.42: Quer Stehende Taschenfilter einer zentralen Anlage.....	234
Abbildung 9.43: Einfache Filtermatte (G4) einer	Abbildung 9.44: Kassettenfilter (F7) einer.....	235
Abbildung 9.45: Taschenfilter (G4) in einer.....	235	
Abbildung 9.46: Provisorische Lösung für das Kondensat (mit Leckströmung).....	236	
Abbildung 9.47 a und b: Steuerungsgeräte für dezentrale Lüftungsgeräte	238	
Abbildung 9.48 a und b: Visualisierungen für zentrale Lüftungsanlage.....	238	
Abbildung 9.49 a und b: Automatische Luftmengenregelung über Mischgasfühler.....	239	
Abbildung 9.50: Anbringung der Fühler und Sensoren.....	239	
Abbildung 9.51: 3-Stufenschalter ohne Abschaltmöglichkeit durch den Nutzer	241	
Abbildung 9.52: Nacherwärmung über ein wassergeführtes System.....	243	
Abbildung 9.53: Bild des sehr gut gewarteten Kontaktbefeuchters	Abbildung 9.54: Schema des Kontaktbefeuchters; Quelle: www.jsluftbefeuchtung.de Stand 01.2008.....	245
Abbildung 9.55: Tabelle und Grafik aus Excel-Tool „ILK-h,x-Dia“ – ILK Dresden	247	
Abbildung 9.56: Ablufführung aus dem zentralen Stiegenhaus spart eine aufwändige Luftleitungsführung für die Abluft.....	249	
Abbildung 9.57: Quelllufteinlässe (Moser und Partner).....	249	
Abbildung 9.58: Brandschutzklappe mit Kontaktschalter für GLT.....	250	
Abbildung 9.59 a und b: Zu gering bzw. sehr knapp bemessene Überströmbereiche	253	
Abbildung 9.60: Verdeckt ausgeführter Überströmbereich	253	

<i>Abbildung 9.61: Abbildung Funktionsweise LTM Themo-Lüfter (Quelle: www.ltm-ulm.de).....</i>	<i>255</i>
<i>Abbildung 9.62: Lüftungsgerät in seine Bestandteile zerlegt.....</i>	<i>256</i>
<i>Abbildung 9.63 a–c: von links nach rechts: Lüftungsgerät im eingebauten Zustand; Thermographieaufnahme; Lüftungsgitter außen.....</i>	<i>256</i>
<i>Abbildung 9.64: Messung VS Ludesch – CO₂-Verlauf vom 08.02.2007.....</i>	<i>257</i>
<i>Abbildung 11.1: Beispiel einer gelungenen Integration von Luftleitungen in einem Kindergarten.....</i>	<i>273</i>

18 Literaturverzeichnis

18.1 Allg. Literatur

- Bischof M.: „Energetische und raumlufhtechnische Optimierung von Schulen“, Diplomarbeit, Pinkafeld (2005)
- Bischof W., Bebersdorf J., Koch A.: „Erhebung zur raumlufthygienischen Situation in Erfurter Schulen“, Jena (2007)
- Blümel E., Fink C., Reise C.: „Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher“, Handbuch zur Planung und Ausführung von luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern für Heiz- und Kühlanwendungen (2001)
- Brandl A., Tappler P., Twrdik F., Damberger B.: „Untersuchungen raumlufthygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen“, 6. AGÖF Fachkongress Nürnberg 20.–21.09.2001: Umwelt, Gebäude und Gesundheit, S. 355–366 (2001)
- BMLFUW: „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung), aktuelle Ausgabe www.umwelt.lebensministerium.at/article/archieve (2006)
- ECA: “Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations”, ECA-Report No 19 (1997)
- Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.: „Fragen und Antworten zur Raumlufftfeuchte“, Status Report 8
- Feist W.: „Passivhaus-Schulen“, Protokollband Nr. 33, PHI, 1. Auflage, Darmstadt (Juli 2006)
- Ferk H. J., Gamerith H., Reiterer E. Mosing M. Ebner H.: „Akustisch wirksame Holzflächen – Gesundheitsschutz durch Lärmschutz und Hörsamkeit“ (2004)
- Fink C. et al.: „Passive Kühlkonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude mittels Luft bzw. wasser-durchströmten Erdreichwärmetauschern“ (2002)
- Forschungsinstitut für Kinderernährung: Dortmund (2004) Download: www.schule.suedtirol.it/blick/angebote/modellmathe/ma2206.htm
- Geyer: „Klimatechnik“, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung, FH Eisenstadt; Studiengang Gebäude-technik (2004)
- Greim H. (Hrsg): „Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-Arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten“, Kapitel: Kohlendioxid. VCH, Weinheim (1994)
- Greml A.: „Messauswertung Klassenzimmerlüftung Volks- und Hauptschule Virgen/Osttirol“ (2004)
- Greml A. et al.: „Technischer Status von Endbericht Wohnraumlüftungen“ (2003)
- Gössler A.: „Technische Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich“, Diplomarbeit, Pinkafeld (2007)
- Håkon Skistag et al.: „Displacement Ventilation in non-industrial premises“, REHVA Guidebook Nr. 1 (2002)
- Heiduk E.: „Schulklassen-Luftqualität bei kontrollierter Lüftung. Eine messtechnische Evaluierung der neuen Volksschule Hermagor (Kärnten)“, Schlussbericht (2008)
- Hodgson A.T: “A review and a limited comparison of methods for measuring total volatile organic compounds in indoor air”, Indoor Air 5: 247–257 (1995)
- Humm O.: „NiedrigEnergie- und PassivHäuser, Konzepte, Planung, Konstruktionen, Beispiele“, Öko-buch Verlag (1998)
- Hutter H-P, Moshammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M: “Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms: results of a survey in Vienna, Austria”, Indoor Air '02 – Proc. 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate (Monterey, USA, 30.06.–05.07.2002), Vol. 2, pp. 239–243 (2002)

- Junker G.: „Einführung in die Raumakustik und Beschallungstechnik“, Skriptum der Universität Wien Institut der Musikwissenschaften (2005)
- Kajtár L, Herczeg L, Láng E (2003) Examination of the influence of CO₂ concentration by scientific methods on the laboratory. Proc Healthy Buildings Conf 2003: 3:176-181
- Krause C. et al.: „Wohn-Innenraum: Raumluft“, Umwelt Survey Band IIIc WaBoLu-Hefte 4/1991, Institut für Wasser- Boden- und Lufthygiene, Berlin (1991)
- Kunesch R.: Skript TGA, FH Kufstein (2001)
- Land OÖ: „Innenraumsituation in OÖ. Pflichtschulen, Berufsschulen und Landwirtschaftlichen Fachschulen“, Erhebungs- und Messprogramm, Eigenverlag (2003a)
- Land OÖ: „Innenraumsituation in OÖ. Kinderbetreuungseinrichtungen, Erhebungs- und Messprogramm“, Eigenverlag (2003b)
- Land OÖ: „Pflichtenheft für Lüftungsanlagen in Schulen, Land Oberösterreich“, Eigenverlag (2006)
Bezugsquelle: Abteilung Umwelt-, Bau- und Anlagentechnik- Öffentlicher Hochbau beim Amt der OÖ Landesregierung, Kärntnerstrasse 10–12, 4021 Linz
- Leusden F.P., Freymark H.: „Darstellungen der Raumbehaglichkeit für den einfachen, praktischen Gebrauch“, (1951)
- Michael K.: „Erfahrungen mit soledurchströmten Erdwärmetauschern“, Niedrig-Energie-Institut GbR (2000) www.nei-dt.de
- Müller D.: „Klimatechnik für Architekten“, TU Berlin – Institut für Energietechnik, Fachgebiet für Heiz- und Raumlufttechnik (2005)
- Muss C.: „Erfahrungen mit kontrollierter Raumbelüftung an Schulen – Komfort, Energie und Kosten“, Tagesband Kongress „Gesunde Raumluft“, IBO Verlag, Wien (2004)
- Myhrvold A.N., Olsen E., Lauridsen O.: „Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO₂ concentration“, In: Proceedings of Indoor Air`96, The 7th international Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, Institute of Public Health, Vol. 4 (1996)
- Nadschläger E. et al: „Gesunde Luft für Oberösterreichs Kinder und Jugend“, Land Oberösterreich Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik, Umwelttechnik, Linz, (2003)
- PAUL-Lüftung GmbH: „Planungs- und Auslegungshinweise“, D-08132 Mülsen, Vettermannstr. 1–5 www.paul-lueftung.de/download/10_Planung_und_Auslegungshinweise.pdf
- Pettenkofer (1858)
- Pluschke P.: „Luftschadstoffe in Innenräumen“, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York (1996)
- Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für HEIZUNG + KLIMA TECHNIK einschließlich Warmwasser und Kältetechnik“, Oldenbourg Industrieverlag München ISBN 3-486-26450-8 (1999/200); (2001/2002); (2007/2008)
- Rehva Guidebook No 1: „Displacement ventilation in Non-Industrial premises“
- Rehva Guidebook No 2: „Ventilation Effectiveness“
- Ribic.: Unser Weg, Heft 5 (2007)
- Rietschel H.: „Raumklimatechnik, Band 1 Grundlagen“, 16. Auflage, herausgegeben von Horst Esdorn, Springer-Verlag Berlin (1994)
- RLT-Richtlinie 1–4: www.rlt-geraete.de (Stand Jänner 2008)
- Schleibinger H. et al.: „Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag“, Umweltmedizin in Forschung und Praxis 7 (3): 139–147 (2002):
- Schleibinger H. et al.: „VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum von 1988 bis 1999“, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 51 (Jan/Feb 2001)
- Shaughnessy R., Haverinen-Shaughnessy U., Nevalainen A. and Moschandreas D.: „Carbon dioxide concentrations in classrooms and association with student performance: a preliminary study“, In:

door Air '05 – Proc. 10th Internat. Conf. On Indoor Air Quality and Climate, Beijing, China, Vol. 1: 373–376 (2005)

Statistik Austria: „Die Energiesituation Österreichs im Jahr 2005 mit statistischen Übersichten und Kennzahlen“ (2006) Download:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html

Tham K.W. et. al.: „Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers“, In: Proceedings of Healthy Buildings, Singapore (2003)

TZWL – Europäisches Testzentrum für Wohnraumlüftungsgeräte e.V.: „Prüfreglement für die Prüfung von zentralen Wohnraumlüftungsgeräten“, www.tzwl.de

Umweltbundesamt Berlin (UBA): „Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden“ (2003)

Umweltbundesamt (Wien): „Luftgütemessungen Jahresbericht“ (2005), (2006)

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0066.pdf>

Veit I.: „Technische Akustik, Grundlagen der physikalischen, physiologischen und Elektroakustik“, 6. erweiterte Auflage, Vogel Buchverlag (2005)

Wargocki P., Wyon DP.: „Research report on effects of HVAC on student performance“, ASHRAE Journal 48, S 23–26 (Oktober 2006)

Wargocki P., Wyon DP., Sundell J, Clausen G, Fanger PO.: „The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity“, Indoor Air Vol 10, No. 4:222-2 (2000)

WHO: „Indoor Air Quality: organic pollutants“, Euro Reports and Studies No. 111. Copenhagen: World Health Organisation, Regional Office for Europe (1989)

Witthauer J., Horn H., Bischof W.: „Raumluftqualität – Belastung, Bewertung, Beeinflussung“, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe (1993)

Zapfel W. et al.: „Dimensionierung von Lüftungsanlagen für Schulgebäude“, – Heizung, Lüftung, Klimatechnik (11/2006)

18.2 Normen und Richtlinien

ASHRAE: ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) Standard 62:1989 „Ventilation for acceptable indoor air quality“

BMLFUW: „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung), aktuelle Ausgabe www.umwelt.lebensministerium.at/article/archieve (2006)

DIN 1946 Teil 2:1994 „Raumlufttechnik, Gesundheitliche Anforderungen“

ÖAL, Richtlinie Nr. 3 Blatt 1:2006 „Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich“

OIB, Richtlinie 6, April 2007 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ www.oib.or.at

ÖISS, Richtlinien für den Schulbau, Teil 4: Bauphysik, Raumklima und Energieeffizienz (2007)

ÖNORM B 8115-1:2002 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 1: Begriffe und Einheiten“

ÖNORM B 8115-2:2006 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 2: Anforderung an den Schallschutz“

ÖNORM B 8115-3:2005 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 3: Raumakustik“

ÖNORM B 8110-5:2007 „Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile“

ÖNORM B 8110-6:2007 „Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf“

ÖNORM EN 308:1997 „Wärmeaustauscher, Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen“

- ÖNORM EN 779: 2002 „Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung“
- ÖNORM EN 1751:1998 „Lüftung von Gebäuden – Geräte des Luftverteilungssystems – Aerodynamische Prüfungen von Drossel- und Absperrlementen“
- ÖNORM EN 1886:1998 „Zentrale raumluftechnische Geräte, Mechanische Eigenschaften und Messverfahren“
- ÖNORM EN ISO 3743-2:1997 „Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern – Teil 2: Verfahren Sonder-Hallräume“
- ÖNORM EN ISO 7730:2006 „Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und PPD, Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit“
- ÖNORM EN 12097:Entwurf März 2005, "Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Anforderungen an Luftleitungsbauteile zur Wartung von Luftleitungssystemen"
- ÖNORM EN 12237:2003 „Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech“
- ÖNORM EN 12354:2000 „Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften“
- ÖNORM EN 12599:2000 „Lüftung von Gebäuden, Prüf- und Messverfahren für die Übergabe eingebauter raumluftechnischer Anlagen“
- ÖNORM EN 12792:2004 „Lüftung von Gebäuden – Symbole, Terminologie und graphische Symbole“
- ÖNORM EN 13829:2001 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren“ (ISO 9972:1996, modifiziert)
- ÖNORM EN 12831:2003 „Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast“ bzw. nationale Ergänzung ÖNORM H 7500: Vornorm Jänner 2006, "Heizungssysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast"
- ÖNORM EN 13053:2002 „Lüftung von Gebäuden, zentrale raumluftechnische Geräte, Nennwerte und Leistungsangaben, Bauelemente und Baugruppen“
- ÖNORM EN 13141-1:2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 1: Außenwand- und Überströmluftdurchlässe“
- ÖNORM EN 13141-2:2004“Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 2: Abluft- und Zuluftdurchlässe“
- ÖNORM EN 13141-3:2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 3: Dunstabzugshauben für den Hausgebrauch“
- ÖNORM EN 13141-4:2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 4: Ventilatoren in Lüftungsanlagen für Wohnungen“
- ÖNORM EN 13141-5:2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 5: Hauben und Dach-Fortluftdurchlässe“
- ÖNORM EN 13141-6: 2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 6: Baueinheiten für Abluftanlagen für eine einzelne Wohnung“
- ÖNORM EN 13141-7:2004 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten für mechanische Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern“
- ÖNORM EN 13141-8:2006 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung für ventilatorgestützte Lüftungsanlagen von einzelnen Räumen“
- ÖNORM prEN 13141-9:2006 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 9: Feuchtegeregelter Außenluft-Durchlass“
- ÖNORM prEN 13141-10:2006 „Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 10: Feuchtegeregelter Abluft-Durchlass“

- ÖNORM 13501:2007 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“
- ÖNORM EN 13779:2008 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme“
- ÖNORM EN 15239:2007 „Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen“
- ÖNORM EN 15240:2007 „Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlage“
- ÖNORM H 5057:2007 „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude“
- ÖNORM H 5058:2007 „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Kühltechnik-Energiebedarf“
- ÖNORM H 6000-3:1989 „Lüftungstechnische Anlagen; Grundregeln, hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen“
- ÖNORM H 6015-1:2001 „Lüftungstechnische Anlagen, Luftleitungen aus Stahlblech, Kreisrunde Wickelfalzrohre und Formstücke, Anforderungen, Ausmaß“
- ÖNORM H 6015-2:2001 „Lüftungstechnische Anlagen, Luftleitungen aus Stahlblech, Rechteckige Kanäle und Formstücke in gefalzter Ausführung, Anforderungen, Ausmaß“
- ÖNORM H 6021:2003 „Lüftungstechnische Anlagen, Reinhaltung und Reinigung“
- ÖNORM Vorschlag H 6039: voraussichtlich 2008 „Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Gruppen-, Unterrichts-, oder Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung“
- ÖNORM M 5700:2002 „Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen“
- ÖNORM M 7615-5:1981 „Lüftungstechnische Anlagen – Leckverlust in Luftleitungen“
- ÖNORM M 7624:1985 „Lüftungstechnische Anlagen; grundsätzliche brandschutztechnische Anforderungen“
- ÖNORM M 7645:1987, „Lüftungstechnische Anlagen – Lärminderung“
- ÖNORM M 8100:1985, „Instandhaltung“
- ÖNORM S 5021:1998 „Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung“
- SIA 382/1:2007 „Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“
- VDI 2071:1997 „Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen“
- VDI 2081:1983 „Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen“
- VDI 2087:1998 „Luftleitungssysteme Bemessungsgrundlage“
- VDI 3081:2000 „Betreiben von Raumluftechnischen Anlagen“
- VDI 3803:2002 „Raumluftechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen“
- VDI 4300 Blatt 1:1995 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie“
- VDI 4300 Blatt 6E:2000 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)“
- VDI 6022-1:2006 „Hygienische Anforderungen an raumluftechnische Anlagen Büro- und Versammlungsräume“

Vielen Dank – insbesondere an die evaluierten Schulen – und ALLEN die uns bei der Umsetzung des Projektes unterstützt haben. Über Rückmeldungen und weitere Verbesserungsvorschläge des Planungslaufes bzw. der 61 Qualitätskriterien würden wir uns sehr freuen. Rückmeldungen an: andreas.greml@andreasgreml.at

Das Projektteam:

- DI Andreas Greml (PL) – FHS-KufsteinTirol bzw. TB Andreas Greml
- DI Ernst Blümel u. DI (FH) Arnold Gössler – AEE INTEC
- DI Roland Kapferer – ENERGIE TIROL
- Ing. Wolfgang Leitzinger – arsenal research
- Mag. Juergen Suschek-Berger – Interuniversitäres Forschungszentrum Graz
- DI Peter Tappler – IBO/Department für Bauen und Umwelt/Donauuniversität Krems

Projekthomepage:

- www.komfortlüftung.at bzw. www.xn--komfortlfung-3ob.at – Klassenzimmerlüftung

