

Hocheffiziente Klassenraumlüftung für Passivhaus-Schulgebäude - Lessons learnt

Rainer Pfluger, Universität Innsbruck
Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich
Tel.: +43 (0) 512 507 63602; rainer.pfluger@uibk.ac.at

Erfahrungen und Herausforderungen

Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung – zugfrei und energieeffizient

Hocheffiziente Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) ist fester Bestandteil von Passivhaus-Schulgebäuden und Sanierungen, die Vorzüge in Bezug auf Gesundheit, Komfort und Energieeffizienz sind eindeutig, auch die positiven Effekte auf die Leistungsfähigkeit der SchülerInnen wurden mehrfach nachgewiesen (siehe z.B. [Dorizas 2015]). Mit der Pandemie hat der gesundheitliche Aspekt noch weiter an Bedeutung gewonnen. Die Wärmerückgewinnung spielt in Schulgebäuden dabei nicht nur die Vorzüge in Bezug auf die Energieeffizienz (Reduzierung der Lüftungswärmeverluste) aus, sondern stellt auch eine wesentliche Voraussetzung für die Zugluftfreiheit durch Vorerwärmung der Frischluft dar. Damit diese aber auch wirklich gesichert erfolgen kann auch planerische Aspekte zu beachten. Ein weiteres wesentliches Akzeptanzkriterium sind darüber hinaus auch geringe Betriebs- und Wartungskosten.

Die wesentlichen Schlüsselkriterien für den effizienten, kostengünstigen und zuverlässigen Betrieb mit hoher NutzerInnenzufriedenheit werden in diesem Beitrag zusammengestellt und gelten prinzipiell sowohl für den Neubau als auch die Sanierung, wie am Beispiel des Projektes [TEAMBuilding 2022] gezeigt.

Schlüsselkriterien für Planung und Betrieb

Entscheidungskriterien für zentrale bzw. semizentrale Anlagen oder Einzelklassenraumlüftung

Dezentrale Klassenraum-Lüftungsgeräte finden häufig Einsatz in der Nachrüstung bestehender Schulgebäude gefunden. Dies liegt am relativ geringen Aufwand für Planung und bauseitigen Nebenarbeiten (geringe Kanalführung, keine Schächte) und die Möglichkeit der schrittweisen Umsetzung. Hinsichtlich der Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten ist jedoch zu bedenken, dass jeder Klassenraum über ein eigenes Gerät mit eigenen Filtern und anderen wartungsbehafteten Bauteilen verfügt. Auch die Be- und Entlüftung anderer Räume (Flure und WCs) sind damit noch nicht gelöst und müssen in der Gesamtkostenrechnung berücksichtigt werden. Zentrale (ein Gerät für die gesamte Schule) bzw. semizentrale (ein Gerät für mehrere Klassenräume und Ablufträume) nutzen dagegen die Kaskadenlüftung, also die Überströmung vom Klassenraum in den Flur und von dort in Garderoben und WCs. Die Wartung beschränkt sich dabei auf weniger Einzelteile, allerdings ist sowohl die umfangreichere Planung als auch die Komplexität der Anlagen bei Wartung und Betrieb inkl. Brandschutzeinrichtungen zu bedenken. Nachfolgende Tabelle fasst die Vor- und Nachteile von zentralen Anlagen bzw. Einzelraumanlagen zusammen.

Zentrale- bzw. semizentrale Anlagen	Einzelklassenraum-Lüftungsgeräte
Relativ geringe Wartungskosten weil nur an einem Gerät Filterwechsel etc. notwendig	Einfach für Nachrüstung in der Sanierung
Kaskadenlüftung über Flure hin zu den Ablufträumen (WC, Garderoben) möglich	Geringer Planungs- u. Bauaufwand
Nur zwei Durchbrüche für Außen-/Fortluft	Wenig Kanäle, keine Schächte
Hydraulischer Frostschutz oder Vorerwärmung durch Erdkanal möglich	Schrittweise (Raum für Raum) Nachrüstung
Spezifisch geringe Gesamtinvestitionskosten	Standardgeräte mit hohen Stückzahlen
Kostengünstige Möglichkeit der Außenaufstellung (Dachmontage)	Kein Technikraum notwendig
Zentrale Befeuchtung möglich	Keine Brandschutzanforderungen

Tabelle 1: Vorteile zentraler Anlagen bzw. von Einzelraumgeräten

Feuchterückgewinnung

Sowohl bei zentralen als auch bei dezentralen Anlagen ist das Thema Feuchterückgewinnung zu berücksichtigen. In Schulgebäuden stellen (bis auf wenige Zimmerpflanzen) die Wasserdampfemissionen der Schulkinder die einzigen Feuchtequelle dar. In den Wintermonaten stellt sich nur bei grenzwertig geringen Luftwechselraten ein Feuchtgleichgewicht im gesundheitlich zuträglichen Bereich über 35 % r.F. ein. Sollen jedoch z.B. im Hinblick auf Gesundheit und Infektionsvermeidung erhöhte Luftwechselraten gefahren werden, wird ein Feuchtemanagement erfahrungsgemäß unerlässlich. Technisch kann dies durch aktive Befeuchtung oder besser (auch in Bezug auf die Hygiene) und energieeffizienter durch Feuchterückgewinnung realisiert werden. Diese Geräte (Membran-Rekuperator bzw. Regenerator als Rotor oder Geräte mit zwei oder mehreren statischen Speichern und Umschaltklappen) bietet nicht nur gesundheitliche Vorteile hinsichtlich der Raumluftfeuchte in den Klassenräumen, sondern ermöglicht auch den Verzicht von elektrischer Vorheizung zu Frostschutzzwecken. Wird bei dezentralen Geräten ohne Feuchterückgewinnung mit elektrischen Heizregistern gearbeitet, so ist das höhere Netzbereitstellungsentgelt aufgrund der erforderlichen hohen Gesamtmaximalleistung im Frostfall zu bedenken. Bei zentralen Anlagen kann hingegen auch mit hydraulischem Frostschutz gearbeitet werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil bei dezentralen Anlagen mit Feuchterückgewinnung ist der Entfall der Notwendigkeit eines Kondensatablaufs. Häufig ist die Entfernung zwischen Kondensatwanne und Abwasserleitung nicht unerheblich, hinzu kommt der Aufwand für den doppelten Siphon und dessen Wartung.

Feuchterückgewinnung weist also vielfältige Vorzüge auf, allein die etwas reduzierte Wärmerückgewinnung im Falle von Membrantauschern ist derzeit noch als Nachteil zu nennen. Hier sind aber künftig noch weitere technische Fortschritte zu erwarten.

Zugfreie Zuluft einbringung – Empfehlungen und Fehlervermeidung

Wichtigste primäre Voraussetzung für zugfreie Zuluft einbringung ist die möglichst hohe Effizienz der Wärmerückgewinnung, weil damit die Zulufttemperatur nur geringfügig unter der Raumlufttemperatur eingebracht wird. Wärmebereitstellungsgrade weit über 75% sind heute bereits weitgehend selbstverständlich. Eine nachgeschaltete Zuluft nachheizung ist dann nicht mehr erforderlich. Diese ist nicht nur in Bezug auf den Energieaufwand unerwünscht, sie führt darüber hinaus häufig zu unerwünscht hohen Raumlufttemperaturen, weil es sich dabei ja um eine in Bezug auf die Raumtemperatur unregelmäßige Wärmezufuhr handelt. An klaren sonnigen Frosttagen reichen die solaren Gewinne häufig völlig aus, jede zusätzliche Wärmezufuhr führt dann rasch zur Überwärmung des Klassenraumes.

Eine planerische Aufgabe mit hohem Einfluss auf die Zugfreiheit stellt nun Ort und Ausbildung des Zuluftauslasses dar. In der Lüftungstechnik sind hier verschiedene Möglichkeiten vom Quellluft-Auslass über Decken- Wand und Kanalluftauslässe bis zum textilen Luftverteilsystemen bekannt.

Sehr gute Erfahrungen wurden bei Schullüftungsanlagen mit der Zuluft einbringung im Deckenbereich unter Ausnutzung des sogenannten Coanda-Effektes gemacht. Dabei wird die Zuluft als geführte Strömung in Deckennähe eingebracht und strömt dann relativ lange an der Decke entlang bis sie sich schließlich mit der Raumluft vermischt ohne Zugscheinungen im Aufenthaltsbereich zu verursachen. Hierzu wurden im Forschungsprojekt [TEAMBuilding 2022] Strömungsvisualisierungen für sechs verschiedene Varianten durchgeführt und daraus folgende Planungsrichtlinien abgeleitet:

- 1) Zuluftauslass in Deckennähe (max. 15-20 cm) anbringen, damit kein Strömungsabriss erfolgen kann. Ein Freistrahler würde aufgrund der Untertemperatur im Raum absinken und zu Zugscheinungen führen
- 2) Keine Strömungshindernisse wie abgependelte Deckenbeleuchtung oder Stufen in der Deckenabhängung (z.B. von Akustikdecken);
- 3) Bei perforierten Akustikdecken sind die Löcher im Bereich des ersten Meters am Auslass zu verschließen, weil sonst Luft durch die Abhangdecke nachströmt.
- 4) Als Auslässe haben sich lange Schlitzauslässe möglichst über die volle Klassenraumbreite bzw. schmale Lamellenlüftungsgitter mit leicht nach oben ausgerichteten Lamellen bewährt. Alternativ eignen sich auch laserperforierte textile Luftverteilsysteme über die gesamte Klassenraumbreite in Deckennähe.

Folgende Abbildungen zeigen problematische Montagepositionen, welche tatsächlich zu Problemen mit Zugscheinungen geführt haben. Diese konnten mit Strömungsvisualisierung durch Einblasen von Nebel und NutzerInnen-Feedback auch nachgewiesen und dokumentiert werden. Teilweise können diese durch Einbau von zusätzlichen horizontalen Lamellengitter mit nach schräg oben gerichteten Lamellen behoben werden. Diese Methode ist allerdings nicht optimal, weil sie zu Strömungsrauschen und zusätzlichen Druckverlusten führen kann.



Abbildung 1: Korrekte Montage des Lüftungsgerätes in Bezug auf den Deckenspiegel (Zuluftauslass nach vorne, Abluftdurchlass seitlich links) aber perforierte Akustikdecke, dadurch kann sich der Coanda-Effekt nicht ausbilden. Abhilfe schafft hier das Abkleben der Löcher nahe beim Auslass (ca. 50 cm bis 1 m)



Abbildung 2: Dachgiebel weit über dem Zuluftauslass und abgependelte Beleuchtungsschienen quer zur Strömungsrichtung. Die Strömung kann sich so nicht an der Decke anlegen und führt zu Zugerscheinungen im Bereich der Sitzreihen.



Abbildung 3: Perforierte Akustikdecke und Deckenversprünge führen zu Strömungsabriss, der Coanda-Effekt kann sich nicht ausbilden.

Steuerung und Inbetriebnahme

Im Gegensatz zur Wohnungslüftung werden Schullüftungsanlagen nachts und am Wochenende abgeschaltet bzw. heruntergefahren. Dies ist sowohl zur Vermeidung hoher Ventilatorstromverbräuche als auch geringer Raumlufffeuchten empfehlenswert. Allerdings können sich in dieser Zeit Schadstoffe (z.B. von Reinigungsmitteln oder Bastelmaterial etc.) über Nacht bzw. am Wochenende anreichern. Wird die Anlage rein über CO₂-Steuerungen betrieben, kann dies zu Geruchs- und Gesundheitsproblemen kommen, weil diese Schadstoffe ja durch den CO₂-Sensor nicht erkannt werden. Daher müssen die Anlagen vor Schulbeginn automatisiert einen mindestens zweifachen Luftwechsel fahren. Diese Funktion muss z.B. durch eine Zeitschaltuhr bzw. Wochenprogramm vorgegeben werden, weil ein Einschalten bei Schulbeginn z.B. mit Präsenzmeldern viel zu spät wäre. Letztere eignen sich dagegen gut für die Abschaltung der Anlage nach Unterrichtschluss. Diese Methode hat sich bei korrekter Einstellung des Erfassungsbereichs als sehr robust und kostengünstig erwiesen, die Abschaltung sollte dann mit etwas Nachlaufzeit programmiert werden.

CO₂-Steuerung ist zwar prinzipiell eine interessante Möglichkeit für bedarfsgerechten Lüftungsbetrieb, ist jedoch auf regelmäßige Kontrolle und ggf. Nachkalibrierung angewiesen. Wie sich bereits nach wenigen Jahren im Projekt [TEAMBuilding 2022] gezeigt hat, weisen die handelsüblichen CO₂-Sensoren starke Drift auf, etwa 1/3 der Sensoren waren sogar vollständig ausgefallen und mussten ersetzt werden. Aber auch Zeitschaltpläne haben einen gewissen Aufwand für die Aktualisierung bei Änderungen der Stundenpläne. Daher wird an dieser Stelle zu einfachen und robusten Lösungen wie fixen Zeitplänen in Kombination mit Anwesenheitssensoren geraten.

Störungsfreier kostengünstiger Betrieb, Nutzerfeedback und Wartung

Hohe Nutzerzufriedenheit und störungsarmer Betrieb kann auch über regelmäßiges Nutzerfeedback, z.B. über eine App (siehe [TEAMBuilding 2022]) erreicht werden, wenn auftretende Fehler oder Mängel rasch und gezielt behoben werden. Häufig erfährt das Facility-Management nur über unkonkrete „Gerüchte“ und Unzufriedenheit des Lehrpersonals vom Fehlverhalten einer Anlage. Zur konkreten Mängelbehebung ist aber die genaue Ursache zeitlich einzugrenzen und zu lokalisieren. Sind der genaue Ort und die Zeit des Fehlverhaltens bekannt und kann ggf. sogar über ein Monitoring (gespeicherte Betriebs- und Messdaten) schlüssig nachvollzogen werden, so kann relativ leicht auf Probleme der Steuerung bzw. der Hardware geschlossen und diese gezielt behoben werden. Daher wurde mit der App in [TEAMBuilding 2022] unter strenger Berücksichtigung der Datenschutzrichtlinien aber dennoch zeit- und ortsgenaues NutzerInnen-Feedback über einen längeren Zeitraum in der Heizperiode eingeholt. Darüber hinaus wurden in den Klassenräumen Raumluffqualitätsparameter sowie Betriebsdaten der Geräte erfasst und aufgezeichnet. Auf diese Weise konnten gezielt Klassenräume mit Zugerscheinungen oder Problemen der Raumluffqualität oder Feuchte detektiert und Abhilfe geschaffen werden. Die Strömungsvisualisierung mit Einblasen von Nebel hilft zusätzlich bei der Überprüfung ob einzelne Sitzplätze besonders von Zugerscheinungen betroffen sind.



Abbildung 4: Strömungsvisualisierung durch Nebel in Zuluft zeigt abfallende Luft im Bereich der hinteren Sitzreihen (Grund: Strömungsablösung durch zu großen Deckenabstand und Versatz)

Laufende Betriebskosten, welche häufig den Kommunen überlassen bleiben, fallen hauptsächlich in Bezug auf Stromkosten (Ventilatorstrom und ggf. Heizregister) und Filterwechsel an. Aufgrund der relativ geringen Betriebszeiten pro Jahr und der aus hygienischen Gründen mindestens jährlich notwendige Filterwechsel sollte man hier auf kostengünstige Industriefilter aber mit hohem Abscheidegrad für Feinstaub achten. Wenn in der Schule noch ein technisch versierter Hausmeister tätig ist, kann ihm gerade bei dezentralen Geräten die Aufgabe des Filterwechsels übertragen werden. Wartungsverträge sollten aus Kostengründen nie pauschalisiert, sondern immer in Bezug auf die tatsächlich anfallenden Arbeiten spezifiziert ausgestellt werden.

Besonderes Augenmerk ist bei elektrischen Frostschutzvorheizregistern auf die genaue Einstellung der Frostschutzgrenztemperatur zu legen. Ist diese zu hoch eingestellt, so wird viel unnötiger Strom verschwendet. Die Außenluftvorheizung muss eben nur so hoch eingestellt werden, dass es im Fortluftbereich des Wärmeübertragers nicht zu Reif- bzw. Eisansatz kommen kann. Genaue Angaben über die optimale Einstellung der Frostschutzgrenztemperatur sollte eigentlich der Hersteller aus Laborversuchen geben können. Viele Hersteller gehen hier allerdings auf die (in Bezug auf den Frostschutz) sichere Seite und nehmen damit unnötigen Stromverbrauch in Kauf.

Quellenverzeichnis

[TEAMBuilding 2022] <https://team-building.tirol/#home> (Zugriff 9.01.2023)

[Dorizas 2015] Dorizas, P. V., Assimakopoulos, M. N., & Santamouris, M. (2015). A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>