



Schlussbericht Juli 2013

ERACOBUILD, SchoolVentCool ENERGETISCHE UND RAUMLUFTTECHNISCHE ERNEUERUNG VON SCHULGEBÄUDEN

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm ERACOBUILD
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)
Institut Energie am Bau (IEBau)
St. Jakobs-Strasse 84
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch/iebau

Hochschule Luzern - Technik & Architektur (HSLU-T&A)
Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch/cctp

Autoren:

René L. Kobler,	FHNW, IEBau,	rene.kobler@fhnw.ch
Thomas Heim,	HSLU-T&A, CCTP,	thomas.heim@hslu.ch
Ralf Dott,	FHNW, IEBau,	ralf.dott@fhnw.ch
Prof. Dr. Peter Schwehr,	HSLU-T&A, CCTP,	peter.schwehr@hslu.ch
Prof. Dr. Achim Geissler,	FHNW, IEBau,	achim.geissler@fhnw.ch
Doris Ehrbar,	HSLU-T&A, CCTP,	doris.ehrbar@hslu.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleiter: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500605-01 / SI/500605

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung	4
Abstract	4
Résumé	5
1. Einleitung	6
1.1. ERACOBUILD, SchoolVentCool.....	6
1.2. Abgrenzung des Projektes.....	9
1.3. Nutzen.....	9
2. Vorgehen und Vorarbeiten	10
2.1. Internationale Zusammenarbeit, nationaler Beitrag.....	10
2.2. Vorwissen und Grundlagen	12
2.2.1. Typologie	12
2.2.2. Vorfabrizierte Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung	15
2.2.3. Vorgaben Lüftung	19
2.2.4. Brandschutzvorschriften	22
2.2.5. Bauliche Rahmenbedingungen.....	26
2.2.6. Behaglichkeitsbewertung.....	31
3. Ergebnisse.....	32
3.1. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	32
3.2. Typologische Analyse der Fallstudien	32
3.3. Die Wahl des Lüftungssystems: Der kritische Weg	52
3.4. Lösungsablauf zentrale Lüftung.....	61
3.5. Lösungsablauf dezentrale Lüftung.....	73
3.6. Automatische Fensterlüftung	80
3.7. Fensterlüftung manuell	84
3.8. Leitlinie für die Planung vorfabrizierter Fassadenmodule mit integrierter Lüftung	86
3.9. Demonstrationsprojekt Krummbach	90
3.10. Erneuerungspotential des Gebäudebestands	92
Literaturverzeichnis	97
Abbildungsverzeichnis.....	99
Tabellenverzeichnis.....	102
 Anhang 1 Eingereichte Fallstudiengebäude	 103
Anhang 2 Typologische Merkmalcheckliste	119
Anhang 3 Ausgewählte Fallstudiengebäude	124
Anhang 4 Bauperioden der 50er, 60er und 70er Jahre	142

Zusammenfassung

Im Rahmen des europäischen ERACOBUILD-Programms war es im internationalen Forschungsprojekt *SchoolVentCool* das Ziel, die Energieeffizienz, die Raumluft- als auch und Tageslichtqualität bei bestehenden Schulgebäuden zu verbessern. Dies soll mit der Anwendung von vorfabrizierten Fassaden-Modulen mit integrierter Lüftungstechnik erreicht werden.

Im Forschungsprojekt CCEM-Advanced Retrofit wurden gemeinsam mit Industriepartnern und Handwerksbetrieben Lösungen für vorfabrizierte Fassadenmodule mit integrierten Lüftungsleitungen für zu erneuernde Mehrfamilienhäuser entwickelt. In *SchoolVentCool* wurden mit Hilfe der dort gemachten Erfahrungen die Lösungen auf Schulgebäude übertragen. Der höhere, flächenspezifische Frischluftbedarf in Schulgebäuden hat eine einschneidende Auswirkung auf die fassadenintegrierten Lüftungsleitungen und in Folge auch auf die Architektur. Es war notwendig, mit dem System dezentraler Frischluftversorgung einen weiteren, ergänzenden Lösungsweg einzubinden.

Unter Verwendung von typologischen Kriterien kann nun zwischen zwei Haupt-Lösungswegen entschieden werden, die vorwiegend den „kritischen Weg der Frischluftversorgung“ berücksichtigen. An einem Demonstrationsprojekt konnte die Machbarkeit der modularen, fassadenintegrierten Lüftungsführung für ein Objekt, das aus einem Wohnhaus mit angegliederten Schulungsräumen besteht, aufgezeigt werden. Die Umsetzung mit vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftung stellt hohe Anforderungen an die Planung und die Unternehmer. Die in diesem Bericht aufgezeigten Lösungsschritte unterstützen Planer, Unternehmer und Behörden in ihrer Koordination und darin, mit prozessbegleitenden Hilfestellungen und Beispielen gemeinsam Vorgaben zu definieren und Lösungen dazu zu erarbeiten.

Abstract

In the international project *SchoolVentCool* in the frame of the *Eracobuild* program, the aim was to improve indoor environment quality, secure sufficient and efficient ventilation as well as to reach a low-energy building standard for existing school buildings. This shall be reached by renovation with modular prefabricated façade elements including ventilation.

In the research project *CCEM-Advanced Retrofit*, together with partners from industry and craftsmanship, solutions for prefabricated façade elements with integrated ventilation ductwork for multifamily houses have been developed. In the *SchoolVentCool* project, these solutions have been transferred to school buildings with the help of the previous experiences. The higher specific fresh air demand per floor surface in school buildings has a drastic influence on façade integrated ventilation ductwork and herewith on architecture. Hence it was necessary to integrate another, complementary approach with decentralized fresh air supply.

By using typological criteria it can be decided between two main solution pathways that take into account primarily the “critical path of fresh air supply”. The feasibility of modular façade integrated ventilation could be shown at a demonstration project that consists of a single family house with attached training rooms. The implementation of prefabricated façade modules with integrated ventilation makes high demands on the planning and entrepreneurs. The outlined steps towards the solution in this report support designers, contractors and government agencies in their coordination and help to define common specifications with process-related assistance and examples as well as to develop the required solutions.

Résumé

Dans le cadre du programme européen ERACOBUILD, le projet de recherche internationale SchoolVentCool a pour objectif d'améliorer l'éclairage naturel et la qualité de l'air intérieur ainsi que l'efficacité énergétique de bâtiments scolaires existants. Cela devra passer par l'utilisation d'éléments de façade préfabriqués intégrant des techniques de ventilation.

Au cours du projet de recherche CCEM-Advanced Retrofit, les partenaires industriels et les artisans ont collaboré au développement des éléments de façade intégrant le système de ventilation pour la modernisation de bâtiments collectifs. SchoolVentCool s'appuie sur ce retour d'expérience pour une application aux bâtiments scolaires. La demande d'air frais par surface spécifique des écoles étant supérieure, cela a un impact considérable sur l'intégration des systèmes de ventilation et par conséquent sur l'architecture. Pour le système de ventilation décentralisé, il était nécessaire d'approfondir le principe de distribution d'air frais.

En utilisant des critères typologiques, on peut distinguer deux types de solutions principales, notamment dans le cas "réseau critique d'alimentation d'air neuf". Ce projet de démonstration démontre la faisabilité des éléments de façade à ventilation intégré, dont l'objet d'étude a été à une habitation rattachée à des salles de formation. Leur mise en œuvre demande une attention particulière du planificateur ou de l'entrepreneur. Les solutions présentées dans ce rapport permettent d'assister les architectes, les entrepreneurs et les autorités dans leur coordination et de définir les objectifs et les solutions à élaborer.

1. Einleitung

1.1. ERACOBUILD, SchoolVentCool

ERACOBUILD [1] ist ein europäisches Rahmenprogramm, das vom BFE unterstützt wird. Das Ziel ist die Stärkung und Erweiterung eines strategischen, internationalen Netzes im Bereich Bau und Betrieb von Gebäuden, was im vorangehenden ERABUILD initiiert wurde. In diesem Rahmen wurde das Projekt „*SchoolVentCool* - Ventilation, cooling and education in high performance renovated and renewable energy supplied school buildings“ durchgeführt [2].

Energetische, gesellschaftliche und bildungspolitische Entwicklungen werden in Zukunft Anpassungen der Schule fordern. Ganzheitliche Sanierungsstrategien betreffen auch das technische System "Schulhausgebäude". In diesem Bereich tauschen die Länder Belgien, Dänemark, Österreich und Schweiz Grundlagen dazu aus. Damit ist im besonderen Energieversorgung, Lüftung und Kühlung, als auch der thermische Komfort gemeint. Ziel ist, das Gebäude auf heutige und künftige Bedürfnisse anzupassen und wieder "fit" zu machen.

Das schweizerische Team, bestehend aus Typologie (CCTP), Bautechnik (IEBau) und Haustechnik (IEBau), entwickelt das im Projekt IEA ECBCS Annex 50 erarbeitete Wissen in den Bereichen Typologie und technischer Vorfabrikation für zu erneuernde Mehrfamilienhäuser weiter für das Schulgebäude. Diese weisen charakteristische Nutzungsmuster mit kurzfristig stark wechselnder Belegung auf. Die besondere Herausforderung bei Erneuerungen von Schulgebäuden betrifft die hohen Anforderungen an die Behaglichkeit der Unterrichtsräume, die Lüftung und Kühlung, sowie die energetische Verbesserung der Gebäudehülle. Das Schweizer Team möchte sein Wissen international austauschen, die Kenntnisse aus dem Mehrfamilienhausbau auf Schulgebäude adaptieren und anhand konkreter Fallbeispiele weiter entwickeln. Ebenso soll verfügbares Wissen aus den beteiligten Ländern erfahren werden.

Schulgebäude nehmen im Gebäudepark der öffentlichen Hand aufgrund ihrer zentralen, integrativen Nutzung eine besondere Stellung ein. Eine energetische Erneuerung dieses Gebäudeparks auf den Stand zwischen MINERGIE und MINERGIE-P hat Vorbildfunktion und kann dadurch Impulse für die Erneuerung des bestehenden Gebäudeparks auslösen. Zudem sollen in Zukunft Lernwelten raumklimatisch optimiert sein und über eine Atmosphäre verfügen, in der die Lehrenden und Lernenden ihr Leistungspotenzial optimal entfalten können.

Im vorliegenden Bericht ist der Fokus auf das Thema Gebäudehülle gelegt. Im Speziellen geht es um eine Gebäudehülle mit vorfabrizierten Fassadenelementen inklusive integrierter Lüftung. Die angestrebten Lösungen eignen sich somit für Gebäude, bei denen vorfabrizierte Fassadenmodule von aussen her montierbar sind. Beim Einsatz vorfabrizierter Module können die Bauprozesse vor Ort beschleunigt werden, so dass die Zeitfenster der Ferien optimal nutzbar sind und damit Schulbetriebsstörungen oder Unterbrüche reduziert werden. Ausserdem lässt sich eine hohe Qualität von Fassadenelementen gewährleisten. Bereits in der Produktion können Systeme zur Nutzung von erneuerbaren Energien in den Fassadenmodulen integriert werden. Eine solche integrale Planung kann aber nur durch frühzeitiges Zusammenarbeiten der relevanten Akteure (Gesetzgeber, Eigentümer, Planer/Unternehmer und Nutzer) zu optimalen Lösungen führen.

Mit der im Fassadenmodul integrierten Lüftung wird die Raumluftqualität in den Klassenzimmern deutlich verbessert resp. gesichert. Hohe Konzentrationen von CO₂ und VOC¹, wegen der hohen Belegungsdichte Anzahl Personen/m², können ein Problem werden, das nicht unterschätzt werden darf [11]. Der in den vorfabrizierten Fassadenmodulen integrierte Sonnenschutz kann durch Automatisierung (auch in den schulfreien Zeiten) einen Beitrag zur

¹ VOC, volatile organic compounds, flüchtige organische Verbindungen

Verminderung der Überhitzung bzw. zur Reduktion des Raumwärmeenergiebedarfs beitragen.

Im Vorfeld fanden sich die vier Länder Belgien, Dänemark, Österreich (internationale Leitung) und Schweiz zusammen, die gemeinsam im Projekt den internationalen Wissenstransfer anhand von fünf Arbeitspaketen vornahmen und sich austauschen wollten. Das Projekt startete im Oktober 2010 und wurde im Februar 2013 abgeschlossen. Es wurde durch das Bundesamt für Energie finanziert. Die FHNW und die HSLU danken dem BFE für diese wertvolle Unterstützung.

Die beteiligten Institutionen waren:

Belgien

- Passiefhuis-Platform vzw (PHP), Flanders, stands for high energy efficient building standards
- Stad Antwerpen, Cabinet vice mayor for education, work & economy – Masterplanning schoolbuildings, Flanders, brings in schools and education Know-how

Dänemark

- Passiefhuis- DTU Technical University of Denmark, Civil Engineering - Building Physics and Services (DTU –BPS), Denmark, new types of ventilation and passive cooling systems
- DTU Technical University of Denmark, Civil Engineering - International Center for Indoor Environment and Energy (DTU – ICIEE), Denmark, studying effects on indoor environment

Österreich

- AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria, experience of building Application for Nordic InnovationsCenter, renovations and innovative sustainable technologies

Schweiz

- Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institute of energy in building, Switzerland, experienced in prefabrication processes
- Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU – T&A), Competence Centre of Typology and Planning in Architecture (CCTP), Switzerland, competence in building typologies

Die 5 Arbeitspakete (WP) und deren Zuständigkeiten (international) waren wie folgt definiert:

WP1 Management - AEE INTEC

This work package aims at a cooperative, constructive and ambitious working atmosphere. A well-coordinated project, delivering the following deliverables on time and within the given budget, will be achieved.

WP2 Building typology – HSLU – T&A, CCTP

Existing datasets of school buildings will be systematically collected and evaluated. Out of this evaluation at least six school buildings from each partner country with different characteristics will be identified as case studies. Each of these case studies will provide plans, photos, energy performance data, description of building components and a survey of user requirements. The case studies will be analyzed and lead to a school building typology regarding construction, energy use, design, user profiles. This typology will allow to develop

guidelines for prefabrication and building services integration will be developed. Building processes will be optimized in order to fit the short time span for the mounting process. The guidelines and investigations of the case studies will be used for further technological evaluations in WP 3, 4 and 5.

WP3 Passive gains versus cooling requirements - AEE INTEC

High performance renovation leads to well insulated and airtight building envelopes. Therefore it is crucial to investigate the thermal dynamics of (class) rooms concerning the influence and effects of the following two parameters:

1. Passive gains: Thermal performance (g-value, U-value), area and orientation of the windows; number of pupils, duration and activity of schoolwork (amount of internal gains); also possible: external (solar) active modules increasing the operating U-value, etc.
2. Cooling requirements: External shading like blinds (with or without daylight use, protection from glare), external insulation (U-values), heat storage mass, ventilation rate, etc.

WP4 New ventilation solutions - DTU-BPS

Recent research at ICIEE (ASHRAE 1257-RP) has shown that inadequately ventilated classrooms reduce the ability of Danish children to perform schoolwork by 20-30%. Current window-opening behaviour in Danish schools is thus neither energy-effective nor effective as a means of providing adequate ventilation.

This project will perform field trials in schools to evaluate three inexpensive retrofit solutions that will enable existing windows to ensure adequate and energy-efficient ventilation. The three different retrofit solutions will be installed and tested in selected pairs of classrooms during normal school operation. The energy consumption will be continuously monitored and controlled under the various combinations of retrofit solutions to be compared with current practice and mechanical ventilation.

WP5 Renovation strategies – FHNW, IEBau and AEE INTEC

The objective is to find optimized renovation strategies referring to the pre-settings of existing school-buildings and their future-oriented use and operation. Based on the case-studies of WP2 innovative solution sets, technological concepts and adapted strategies for advanced school-application will be developed in four renovation case studies. Furthermore, these renovation case studies should support the realization of at least two demonstration projects. The work focuses on the development of strategies for high performance renovation of school buildings by improving the thermal envelope with modular concepts at optimized levels of pre-fabrication and integrated building services, automation and active modules. Existing pre-fabrication concepts for residential buildings (from IEA ECBCS Annex 50) will be developed further and adopted for the specifications and requirements of school-buildings.

WP6 Demonstration Projects - DTU-ICIEE

Demonstration projects are showcases for investigation and learning from them. "School vent cool" will include the detailed preparation of at least two school renovations in different partner countries, ready to invite offers from contractors on the market. The demonstration projects will be found out of the 24 investigated case studies of WP2. Since the project can offer two letters of intent from school building owners in Austria and Flanders, it is very reasonable to get two well investigated demonstration projects.

WP7 Dissemination and communication - PHP

Equal to the point "communication activities" in the application form!

Der vorliegende Bericht basiert hauptsächlich auf den internationalen Arbeitspaketen „WP2 Building Typology“, „WP4 New ventilation solutions“ und „WP5 Renovation strategies“. Ein weiterer Ergebnisteil aus WP5 ist dokumentiert im Bericht „The way towards your cool school“ [39].

1.2. Abgrenzung des Projektes

Es werden nur Schulgebäude betrachtet, die von aussen her mit Gebäudehüllelementen erneuerbar sind und die Integration von Lüftungsleitungen in diesen Elementen ideal ist. Daher ist die Möglichkeit des von aussen an die bestehende Fassade Anbringens von Gebäudehüllelementen eine unabdingbare Voraussetzung. Gebäude, die nicht von aussen erneuert werden können oder wo Lüftungsleitungen vorteilsweise im Innern des Gebäudes geführt werden müssen, sind somit nicht Bestandteil dieser Arbeit. Diese müssen mit anderen Lösungen adäquat ausgeführt werden. Das vorliegende Projekt adaptiert die im IEA ECBCS Annex 50 entwickelte typologische Methode und vorfabrizierten Hüllsysteme für Mehrfamilienhäuser an die Bedürfnisse von Schulgebäuden. Andere Nutzungstypen werden nicht untersucht.

Nicht Bestandteil der Untersuchung und Entwicklung sind:

- Thema Innendämmung:
Das Konzept aus dem IEA ECBCS Annex 50 beruht vollständig auf dem Prinzip der Aussendämmung. Im vorliegenden Projekt werden keine Lösungen mit Innendämmung untersucht.
- Schützenswerte Bauten:
Der Untersuchungsgegenstand des vorliegenden Projekts sind keine schützenswerte Bauten und Anlagen.
- Abgrenzung Typologie:
Das vorliegende Projekt adaptiert die im IEA ECBCS Annex 50 entwickelte typologische Methode und die vorfabrizierten Gebäudehüllsysteme für Mehrfamilienhäuser und überträgt diese Erkenntnisse auf Schulgebäude (Primar- und Sekundarstufe). Andere Nutzungstypen werden nicht untersucht.
- Ständig sich ändernde Nutzungsmuster:
Für Nutzungsvarianten werden hier nur grobe Nutzungsmuster der Belegungen von Räumen verwendet und als grobe Randbedingungen behandelt.

1.3. Nutzen

Die Ergebnisse des Berichtes unterstützen den Planungsprozess bei der Erneuerung von Schulgebäuden mit vorfabrizierten Fassadenmodulen und integrierter Lüftung. Angesprochene Akteure sind Architekten, Planer, Behörden, aber genauso auch die Unternehmer, die schon in einer frühen Planungsphase beigezogen werden sollten, wegen der Entwicklung von relevanten Konstruktionsdetails. Der Bericht unterstützt Entscheidungen anhand eines Leitfadens, nämlich dem „kritischen Weg“ der Lüftung. Dieser Leitfaden hilft auf der einen Seite einen Planungsprozess systematisch zu starten, aber auch im Anschluss die Wahl eines Systems zu begründen. Durch die internationale Wissensabsicherung ist der Vorgang nicht nur spezifisch für die Schweiz, sondern allgemein gültig. Der in den Ländern praktizierte Planungs- und Bauablauf wird beibehalten.

Noch nicht energetisch erneuerte, ältere Schulgebäude haben im Vergleich zu neuen Schulgebäuden einen hohen Heizwärmebedarf. Die Energiebezugsfläche (EBF) der Schulgebäude z.B. in der Schweiz entspricht rund 3.5 – 4 % der gesamten EBF des Gebäudeparks. Mit dem im Bericht vorgeschlagenen Vorgehen führt die Erneuerung des Schulgebäudes zu einer Reduktion des Energiebedarfs für Raumwärme, der im Bereich zwischen MINERGIE und MINERGIE-P zu liegen kommt.

Der Bericht wird auch in Englisch erhältlich sein, so dass die am SchoolVentCool beteiligten Länder (und auch andere Länder) den Vorgang einsehen und daraus fortführende Projekte hervorbringen können (Förderung des Wissens über nachhaltiges Bauen der regionalen Unternehmen, Pilotprojekte).

2. Vorgehen und Vorarbeiten

2.1. Internationale Zusammenarbeit, nationaler Beitrag

Internationale Zusammenarbeit

An fünf Veranstaltungen (Antwerpen, Liestal, Graz, Kopenhagen, Brüssel) wurden im halbjährlichen Abstand die internationalen, disziplinübergreifenden, zwei tägigen Meetings von den jeweiligen Ländern organisiert und durchgeführt. Dabei fand der Austausch des unterschiedlichen Know-How's und die Präsentationen der erarbeiteten Zwischenresultate unter den Kompetenzträgern der einzelnen Länder statt.

Aufgrund der Zusammensetzung der Fachkompetenzen und deren Verteilungen auf verschiedene Institute stellte sich z.B. folgender Informationskreislauf ein, der auch in der Praxis ein Vorgehen für die Planung von Gebäudehüllerneuerung mit vorfabrizierten Fassadenelementen mit integrierter Lüftung darstellen kann.

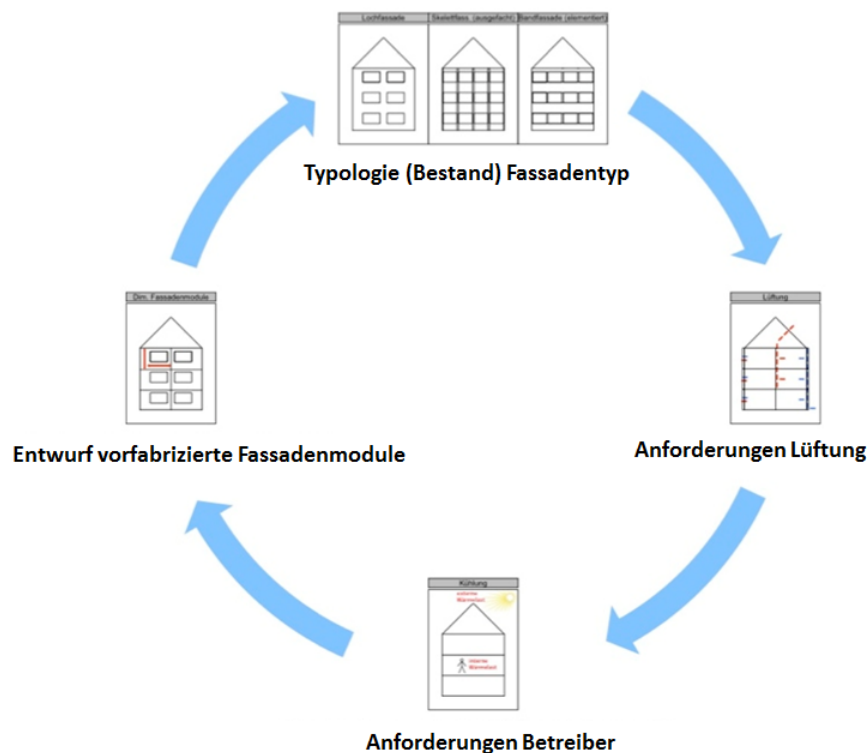


Abbildung 1: Informationsaustausch zwischen internationalen Instituten mit sich ergänzenden Fachkompetenzen

Die Inhalte der einzelnen vier Bereiche sind wie folgt:

Typologie (Bestand) Fassadentyp

Als erster Schritt werden Fallbeispiele aus den verschiedenen Ländern erfasst und analysiert um typologische Merkmale zu identifizieren. Er unterstützt die Entwicklung von Leitlinien für vorfabrizierte Fassadenmodule. Die Analyse zeigt, dass die Konstruktion wegen Lüftungen, Sonnenschutz, Tageslichtnutzung und Modulbauweise anhand von drei Fokustypen (Fassadentypen) erfolgen kann.

Anforderungen Lüftung

Dänemark konnte mit seinen Fachbereichen Raumluftqualität, Luftverteilung und Erfahrung mit mechanischer Lüftung die haustechnischen Vorgaben für Raumluftbedingungen stützen.

Auch das Thema der nicht mechanischen Lüftung erfuhr aufgrund der besichtigten Schulgebäude in Copenhagen einen erhöhten Stellenwert.

Die erforderlichen Luftmengen (quantitative Angaben) zur Steigerung der Raumlufthqualität und die Konzepte zu deren Verteilung bezüglich des schulspezifischen Nutzungsmusters werden als Basis für die Dimensionierung der Lüftungsleitungen in den vorfabrizierten Fassadenmodulen herangezogen.

Anforderungen Betreiber

Die Stadt Antwerpen geht davon aus, dass dort in den kommenden Jahrzehnten ein deutlicher Anstieg der Anzahl Schüler stattfinden wird. Antwerpen ist aufgrund des begrenzt zur Verfügung stehenden Baulandes auf die Erneuerung der bestehenden Schulgebäude angewiesen. Es konnten hier Erkenntnisse an den zukünftigen Betreiber weitergeleitet und auch Erkenntnisse mit gesellschaftlichen, politischen Hintergründen entgegen genommen werden.

Österreich hat mit der Untersuchung des sommerlichen Wärmeschutzes, der gemeinsamen Begehung realisierter, erneuerter Schulgebäude in der Region Graz (ohne vorfabrizierte Elemente) und einem organisierten Informationsaustausch mit Fachleuten ausserhalb des Projektteams praxisrelevante Erfahrungen eingebracht. Dazu gehört z.B. auch die Erinnerung an einen wichtigen Ansatz, dass Nachhaltigkeit nicht nur technisch/konstruktiv zu sehen ist, sondern auch die dazu gehörende fachliche Ausbildung des regionalen Handwerkes, wenn nachhaltiges Bauen fest am Ort integriert werden soll.

Entwurf vorfabrizierte Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung

Die Hinweise bezüglich Luftmengen und Luftqualität und den dadurch abgeleiteten Rohrdurchmessern für Lüftungsleitungen, dem fachlichem Kenntnisstand der örtlichen Unternehmer und die typologisch identifizierten Merkmale prägen die Herangehensweise an den Planungsprozess für die Konstruktion von Fassadenmodulen. Dies führte auch dazu, dass sich die zentrale Lüftung alleine als Planungsansatz als ungenügend heraus stellte und weitere Lösungsoptionen beigezogen werden mussten.

Nationaler Beitrag

Das Ziel des schweizerischen Forschungsteams ist, das im IEA-Projekt Annex 50 [3], [4] erarbeitete Wissen im Bereich Typologie und Vorfabrikation für zu erneuernde Mehrfamilienhäuser im Rahmen von ERACOBUILD, SchoolVentCool international auszutauschen, auf Schulgebäude zu adaptieren und anhand konkreter Fallbeispiele weiter zu entwickeln. In internationaler Zusammenarbeit soll das Konzept auf andere Länder angepasst werden und anwendbar sein, respektive wichtige, neue Erkenntnisse in das eigene System einfließen.

Für die Zusammenarbeit innerhalb des Schweizer Teams und der Zusammenarbeit mit den internationalen Forschungspartnern werden dazu folgende eigene Arbeitspakete gebildet:

1. KnowHow - Austausch zwischen IEA ECBCS Annex 50 und ERACOBUILD SchoolVentCool Forschungspartnern, um den Wissensstand bezüglich vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierten Lüftungsleitungen international zu vermitteln.
2. Typologische Analyse, Fallbeispiele und Ableitung von Guidelines für die technische Entwicklung von Modulen und Optimierung von Bauprozessen.
3. Adaption und Weiterentwicklung der Fassadenmodule von Mehrfamilienhäusern mit integrierter Lüftungsleitung aus IEA ECBCS Annex 50 an die spezifischen Anforderungen von Schulgebäuden.
4. Synthesebericht (entspricht vorliegendem Bericht). Dieser wird für den internationalen Austausch auch in Englisch erhältlich sein.

2.2. Vorwissen und Grundlagen

2.2.1. Typologie

Einleitung

Die Typologie im Projekt SchoolVentCool dient zur *qualitativen* Untersuchung typischer Schulgebäude aus den beteiligten Ländern. Einerseits werden die Schulgebäude analysiert um daraus Gebäudetypen (Gesamttypen) abzuleiten und andererseits um Bauteile (Fokustypen) zu identifizieren, welche relevant für die Planung und Konstruktion vorfabrizierter Fassadenerneuerung sind. In Zusammenarbeit mit Architekten und Planern soll es möglich werden, Erneuerungsstrategien zu entwickeln und mit vorfabrizierten Fassadenmodulen zu realisieren.

Mit Hilfe der Typologie können Leitlinien für die vorfabrizierte Fassadenerneuerung mit integrierter Lüftung bei Schulgebäuden entwickelt werden. Eine neue Fassade wird dabei auf die bestehende Fassade montiert oder ersetzt diese teilweise (je nach Analyse der bestehenden Bausubstanz). Dabei gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. Bei Gebäuden mit monolithischer Struktur werden die vorfabrizierten Fassadenelemente als zusätzliche Fassadenschicht auf die bestehende Fassade montiert. Bei Gebäuden mit einer Skelettstruktur wird in der Regel ein Teil der vorhandenen Fassade ausgetauscht (z.B. nichttragende Sturz- und Brüstungselemente). Dieses Erneuerungskonzept gibt nicht nur Spielraum für den architektonischen Entwurf, sondern eröffnet auch Möglichkeiten für räumliche Erweiterungen (z.B. Aufstockungen oder Anbauten) welche wiederum den Anlagewert erhöhen. Ein weiterer Mehrwert stellt die Nutzung von Solarenergie dar, welche sich mit geringem Aufwand in die neuen Fassadenmodule integrieren lässt. Diese Massnahmen stellen sicher, dass das erneuerte Gebäude die höchsten Anforderungen an Energieeffizienz und Komfort erfüllt. Rationelle Konstruktionsprozesse, Qualität- und Kostensicherheit sind weitere wichtige Merkmale des Konzepts [26].

Kategorisierung von Schulgebäuden

In der Literatur finden sich je nach Zielstellung verschiedene Kategorisierungen von Schulgebäuden. In den folgenden Abschnitten werden zwei der wichtigsten Kategorisierungen skizziert. Dies sind der Bau- bzw. Erschliessungstyp und Typologien nach Bauperioden.

Die im Forschungsprojekt IEA Annex 36 (Gebäudeerneuerung im Bildungsbereich) entwickelte Typologie kategorisiert Schulgebäude nach Bau- bzw. Erschliessungstyp [27]. Dabei machen Schulgebäude mit Unterrichtsräumen einen grossen Teil des Gebäudebestands im Bildungsbereich aus und passen im Allgemeinen in eine der folgenden Kategorien:

- Die Dorfschule (19. Jahrhundert)
- Die mehrgeschossige Stadtschule (19. Jahrhundert)
- Die ein- oder zweigeschossige Schule mit zentralem Korridor (20. Jahrhundert)
- Die Schule mit seitlichem Korridor (spätes 19. Jahrhundert bis Mitte 20. Jhd.)
- Die Pavillonschule (frühes 20. Jahrhundert)
- Die Hallenschule (30er Jahre, Zentraleuropa)
- Die kammförmige Schule (50er Jahre)
- Die Grossraumschule (60er Jahre)
- Die Clusterschule (70er bis 90er Jahre in Dänemark)

Die oben beschriebenen Kategorien des Schulgebäudebestands lassen sich auf drei grundsätzliche Bautypen zurückführen: den Korridortyp, den Hallentyp und den Pavillontyp. Mit der Einführung verschiedener Fächer wandelte sich das Schulgebäude mit einem Raum zu mehreren getrennten Räumen mit Korridor. Die hauptsächliche Ausprägung dieses Korridortyps ist die sequenziell räumliche Struktur. D.h. Die Räume liegen entweder auf einer Seite oder auf beiden Seiten der Erschliessungsfläche. Die Entwicklung des Hallentyps in den 50er Jahren war eine Konsequenz auf die Einführung von Gruppenaktivitäten. Die verschiedenen

Trakte des Hallentyps sind Varianten des Korridorotyps. Diese Trakte sind alle durch eine zentrale Halle verbunden, welche normalerweise verschiedene Nutzungen hat. Die Hallenschule ist durch eine ringförmige Erschliessung gekennzeichnet, welche die Trakte verbindet. Weitere Wandlungen des Korridor- und Hallentyps haben zum Pavillontyp geführt, welcher aus einer Anzahl von Pavillons oder Trakten unterschiedlicher Grössen und Ausprägungen besteht. Die Kubatur der verschiedenen Pavillons ist einfach erkennbar und sie haben alle ihre eigene Struktur. Sie sind Varianten des Hallen- oder des Korridorotyps. Eine gemeinsame Ausprägung aller drei Typen ist eine grosse Anzahl von traditionellen Klassenzimmern, welche entweder durch einen Korridor oder durch eine Halle verbunden sind [28].

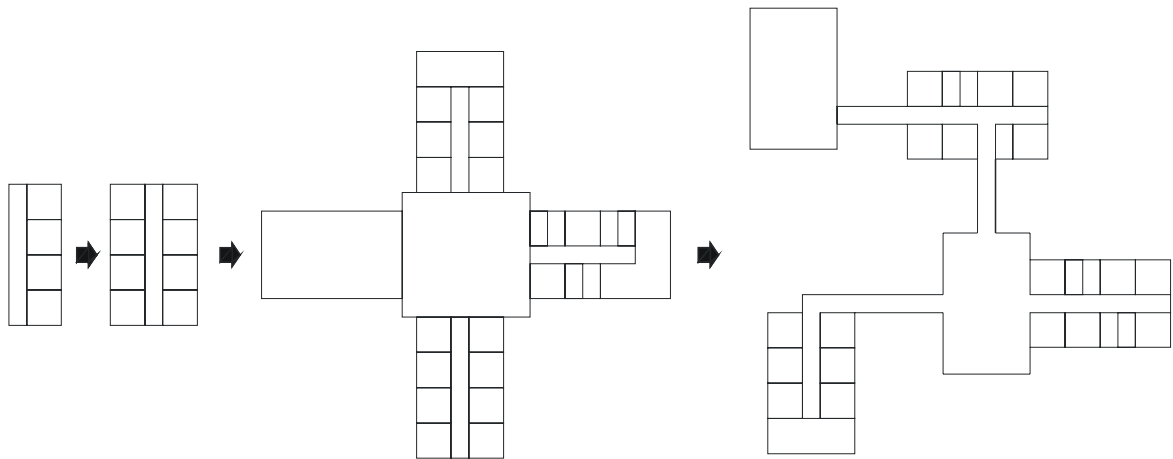


Abbildung 2: Typologische Evolution von Schulgebäuden am Beispiel von den Niederlanden: (von links nach rechts) Korridor-, Hallen- und Pavillontyp [28]

Das „Handbuch Baustelle Schule“ beschreibt die Österreichische Schulgebäudetypologie nach Bauperioden von der Gründerzeit bis in die 70er Jahre [29]:

- Gründerzeit von 1840 bis 1918
- Zwischenkriegszeit 1918 bis 1938
- Wiederaufbau 1945 bis 1962
- Späte Nachkriegsmoderne 1962 bis 1970
- 70er Jahre

Um einen Überblick über den Schulgebäudebestand und die für die Erneuerung relevanten Bauperioden zu erhalten, sind im Anhang 4 die Bauperioden der 50er, 60er und 70er Jahre als Referenzdaten zusammengefasst. Die Referenzdaten beziehen sich auf die Publikation „Handbuch Baustelle Schule - Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen und beschreiben typische Schulgebäude aus den Bauperioden der 40er – 70er Jahre“ [29].

Methodisches Vorgehen

Gebäudetypen sind ähnliche Gebäude, welche typisch sind und häufig vorkommen. Die Definition eines Gebäudetyps basiert auf einer Gebäudetypologie und beschreibt spezifische Eigenschaften und Merkmale eines Gebäudes. Gebäudetypen können aus verschiedenen Gesichtspunkten gebildet werden. Eine Gebäudetypologie beschreibt Gebäudetypen mit der gleichen Gruppe von Merkmalen. Diese umfassen z.B. das Baujahr, die Geschossanzahl und andere Merkmale, die für die Projektziele wichtig sind. Eine Gebäudetypologie erlaubt die Entwicklung von allgemeinen Strategien für die Sanierung [26].

Um eine aussagekräftige Gebäudetypologie zu entwickeln ist eine präzise Zieldefinition erforderlich. Der Prozess ist in Abbildung 3 skizziert. Welche Information soll durch den

Vergleich von Gebäudetypen abgeleitet werden (Schritt I)? Die relevanten Merkmale müssen identifiziert- und in einem Merkmalkatalog festgehalten werden (Schritt III). Der Merkmalkatalog ist in vorliegendem Fall eine Sammlung relevanter Merkmale im Kontext der Schulgebäudeerneuerung. In diesem Katalog sind ca. 70 Merkmale erfasst und in vier Fokusbereiche² gegliedert: Schulanlage, Schulgebäude, Klassenzimmer und Gebäudetechnik. Der Fokusbereich der Schulanlage gibt Auskunft zur Gebäudeposition, welche für die Anlieferung und Montage vorfabrizierter Fassadenmodule relevant ist. Der Fokusbereich Schulgebäude umfasst Fassadentyp und Anzahl der Geschosse und erlaubt Aussagen zur Austauschbarkeit der bestehenden Bausubstanz, zur Lüftungsverteilung und der Lastabtragung. Im Fokusbereich Klassenzimmer wird die Raumgeometrie untersucht, welche für die Wahl des Lüftungssystems und die Grundriss-Flexibilität relevant ist. Im Fokusbereich der Gebäudetechnik wird der Energiebedarf bzw. der Energieverbrauch der Fallstudien erfasst. Die Gebäude werden gemäss diesen Merkmalen analysiert (Schritt IV und V). Durch die Kombination dieser Merkmale können Typen abgeleitet werden (Schritt VI), welche wichtige Erkenntnisse im Sinne der Aufgabenstellung liefern. Schritt II und Schritt VII (quantitative Typologie) werden in diesem Zusammenhang nicht beschrieben, da es sich im vorliegenden Projekt um eine qualitative Typologie (basierend auf Fallstudien) handelt.

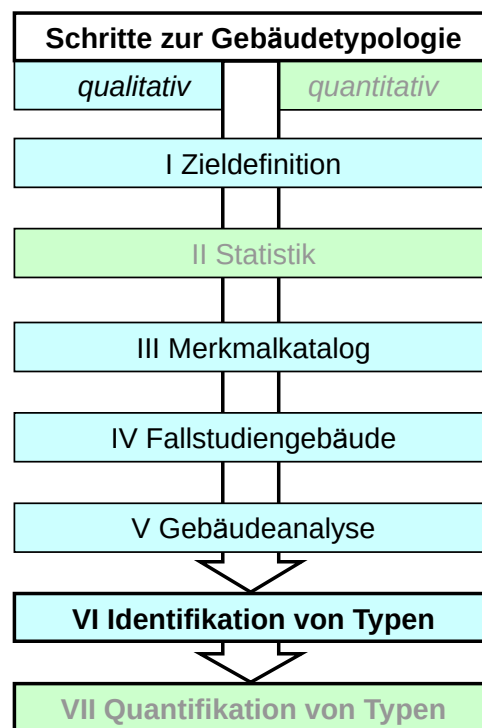


Abbildung 3: Sieben Schritte zur Gebäudetypologie [26]

Der Ansatz der am CCTP entwickelten Methode der typologischen Evaluation erweitert das Verständnis bestehender Typologien, welche Gebäude z.B. nach Bau- bzw. Erschliessungstyp oder der Bauperiode kategorisieren. Durch die Kombination relevanter Merkmale kann einerseits eine Aussage zu häufig vorkommenden Gebäudetypen getroffen werden, andererseits können Lösungen im Hinblick auf das Konzept der Vorfabrikation gefunden werden (Fokustypen). Im Projekt SchoolVentCool findet die Typologie ihren Einsatz als Grundlage für die Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule (mit integrierter Lüftung) und zur Optimierung von Bauprozessen.

² Fokusbereiche beschreiben funktional zusammenhängende Bereiche im Kontext der Gebäudeerneuerung und beinhalten im Projekt SchoolVentCool die für die Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule relevanten Merkmale

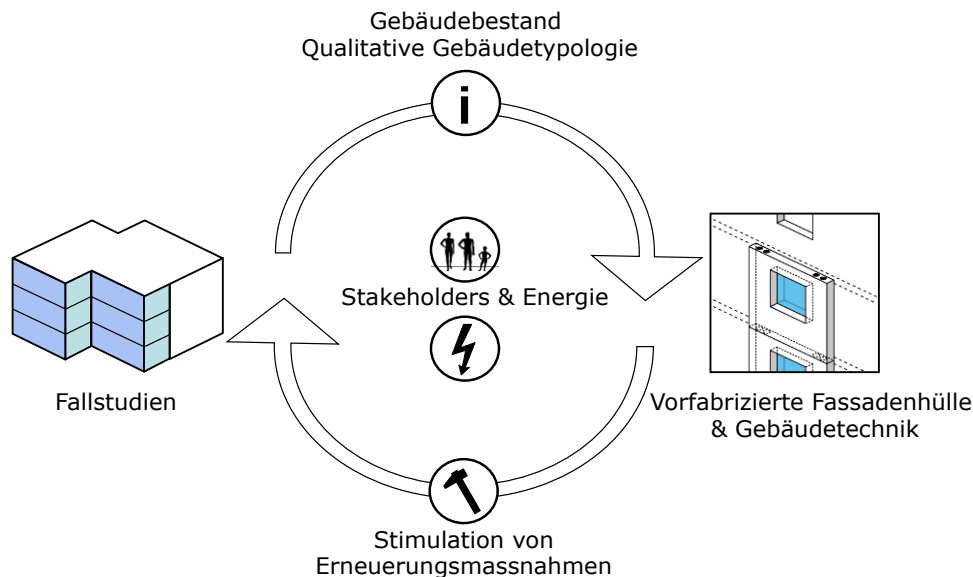


Abbildung 4: Fallstudien als Grundlage für die qualitative Gebäudetypologie

Die Fallstudien der beteiligten Länder stellen die Grundlage für die qualitative Gebäudetypologie dar. Die aus den relevanten Merkmalen der Fallstudien abgeleiteten Gesamt- und Fokustypen dienen der Entwicklung der vorfabrizierten Fassadenhülle mit integrierter Gebäudetechnik (Lüftungssystem- und deren Verteilung). Die Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten soll eine Stimulation von Erneuerungsmassnahmen bezwecken, indem die Erfahrung und das gewonnene Know-how aus den realisierten Projekten für zukünftige Erneuerungen genutzt wird und zur Verbreitung dieser Erneuerungsmethode beiträgt.

2.2.2. Vorfabrizierte Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung

Konkret sollen zukünftige, zu erneuernde Schulgebäude über ein das ganze Jahr angenehmes Innenraumklima und eine ausreichende Frischluftzufuhr verfügen. Auch sollen sie energieeffizient, vor allem betreffend Raumwärme, betrieben werden können. Diese Anforderungen können zu einem grossen Teil durch vorfabrizierte Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung abgedeckt werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die Erfüllung der Anforderungen ist eine Gebäudehülle, die den thermischen Schutz gegen Kälte und Wärme sicherstellt. Sie muss deutlich bessere U-Werte haben als die bestehenden Schulgebäude. Der U-Wert ist nicht der alleinige Faktor für energieeffizientes Betreiben eines Gebäudes, aber ein gewichtiger. Typische U-Werte von älteren, nicht erneuerten Schulgebäuden sind in Tabelle 1 angegeben.

Die neuen U-Werte für opake Fassadenteile können runter gehen bis $0.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dieser sehr tiefe Wert kann dann ein Ziel sein, wenn das Gebäude nicht nur die minimalen gesetzlichen Bedingungen zur Erzeugung von Raumwärme erfüllen, sondern ein zukunftsfähiges Plusenergiegebäude werden soll. Z.B. „überschüssiger“ Strom könnte für das Power to Gas Verfahren eingesetzt werden. Die saisonale Speicherung des produzierten erneuerbaren Methangases ermöglicht die Wiederverwendung des „überschüssigen“ Stromes für die Erzeugung von Raumwärme. Ebenfalls wäre der Übertrag in eine elektrifizierte Mobilität sinnvoll. Das später beschriebene Demonstrationsprojekt „Schulhaus Krummbach“ verbrauchte früher rund 6000 Liter Öl pro Jahr. Nach der Erneuerung ist der Heizwärmebedarf Q_h gemäss Nachweis SIA 380/1:2009 nur noch rund $123 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$, als rund einem Faktor 3 kleiner. Dabei muss berücksichtigt werden, dass nun die heutige Nutzung lückenlos über das ganze Jahr stattfindet. Das noch mit zusätzlichen Photovoltaikanlagen ausbaufähige Dach hat das Potential zum Plusenergiegebäude.

Bauteile Perioden	Außenwände	Fenster	Decken
Gründerzeit (1849 bis 1917)	vor 1900 1,55 W/(m2K) ab 1900 1,5 W/(m2K)	2,5 W/(m2K); g-Wert = 0,67	zu unbeheiztem Dachraum: vor 1900 0,75 W/(m2K) ab 1900 1,20 W/(m2K) zu Keller: vor 1900 0,75 W/(m2K) ab 1900 1,5 W/(m2K)
Wiederaufbau (1945 bis 1961)	1,3 W/(m2K)	2,5 W/(m2K); g-Wert = 0,67	Letzte Geschossdecke: 1,35 W/(m2K) Decken zum Keller: 1,1 W/(m2K)
Späte Nachkriegs- moderne (1962 bis 1970)	1,2 W/(m2K)	3,0 W/(m2K); g-Wert = 0,67	Letzte Geschossdecke: 0,55 W/(m2K) Decken zum Keller: 1,35 W/(m2K)
70er Jahre (1971 – 1980)	0,8 -1.2 W/(m2K)	3,0 W/(m2K); g-Wert = 0,67	Letzte Geschossdecke (Flachdach): 1,0 W/(m2K) Decken zum Keller: 0,85 -1 W/(m2K)

Tabelle 1: Typische U-Werte von Schulgebäuden nach Bauperiode, [29] Seite 15-28

Erst durch eine starke Senkung der Transmissionswärmeverluste (Q_T) durch die Gebäudehülle kann im Winter eine verhältnismässige, sinnvolle Nutzung gegenüber solaren und andere Wärmegewinnen stattfinden (gemäss Formel $Q_h = \Sigma [Q_T + Q_V - \eta_a (Q_i + Q_s)]$, Norm SIA 380/1:2009). Neben den solaren Wärmegewinnen über Fenster ist auch gerade in Klassenzimmern mit hoher Belegungsdichte derjenige Beitrag der Wärmeabgabe der Schüler relevant (Q_i). Nach Norm SIA 380/1:2009 beträgt die Leistung der Wärmeabgabe in Schulen pro Person 70 W ($Q_P = 70 \text{ W/P}$). Unter der Annahme von 20 Personen in einem Klassenzimmer mit 70 m² Nettogrundrissfläche würde die „Heizleistung“ dieser Personen während der Präsenzzeit (t_p in h) rund 1.4 kW betragen.

Auch der Schutz vor Überhitzung der Räume im Sommer ist ein wesentliches Thema für ein angenehmes Lernklima. Bei sehr gut wärmegeämmten Gebäuden ohne grosse thermische Masse kann die geringere nächtliche Auskühlung über die Aussenbauteile eine Überhitzung der Klassenzimmer tagsüber fördern.

Die Grundsätze sind somit eine Aufrechterhaltung einer angenehmen Raumtemperatur im Winter als auch im Sommer. Dies unter der Berücksichtigung, dass vor allem im Klassenzimmer oder Gruppenräumen zeitweise hohe Belegungsdichten vorliegen.

Die Optimierung der Gebäudehülle durch Reduktion der Transmissionswärmeverluste gegen Abkühlung und Erwärmung und einem Sonnenschutz gegenüber Überhitzung müssen immer objektspezifisch aufeinander abgestimmt werden. Auch immer unter der Berücksichtigung eines minimalen Energieverbrauchs zur Erzeugung von Raumwärme, allenfalls auch Energie für Kühlung. Daten für Berechnungen müssen objektspezifisch eingeholt werden. Die allgemeine Vorgehensweise zur Berechnung dieser bauphysikalischen Faktoren ist bei

Fachleuten bekannt und braucht hier nicht zusätzlich im Detail wiederholt zu werden. Spezielle Hinweise dazu finden sich noch später im Bericht.

Mindestens gleich bedeutsam ist die Gewährleistung der Raumluftqualität, vor allem in Klassenzimmern. In geschlossenen Räumen können bereits nach wenigen Minuten die empfohlenen CO₂-Konzentrationen überschritten werden. Die meisten älteren Schulgebäude haben nur die manuelle Fensterlüftung zur Verfügung. Im Projekt SchoolVentCool wird diese erwähnt aber nicht mehr Bestandteil sein und durch automatische Lüftung ersetzt.

Vorfabrizierte Fassadenmodule sind schon seit längerer Zeit in der Baupraxis anzutreffen. Jedoch kaum solche mit bereits integrierten Lüftungsleitungen. Im Forschungsprojekt „CCEM Retrofit, Advanced Low Energy Renovation of Buildings“ [3], [4] war ein Forschungsbereich die Entwicklung von solchen vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftungsleitung. Diese wurden für die Anwendung bei älteren Mehrfamilienhäusern entwickelt. Auch dort gilt, dass die vorfabrizierten Fassadenmodule nicht per se die alleinige Lösung für zu erneuernde Gebäude darstellen. Die Lüftungsleitungen werden hier nicht im Innern des Gebäudes, sondern auch in der neuen Gebäudehülle, sprich in den vorfabrizierten Elementen geführt. Für Gebäude, bei denen eine Frischluftversorgung nicht fassadenintegriert realisiert werden soll, sei auf den Schlussbericht „Lüftung in Schulen“ der Stadt Zürich [5] verwiesen, der die Ergebnisse einer Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen zusammenfasst.

Gebäude, die mit vorfabrizierten Fassadenmodulen versehen werden sollen müssen von aussen erneuerbar sein, d.h. Gebäude, die z.B. aus Sicht der Denkmalpflege nicht von aussen verändert werden dürfen, sind nicht Bestandteil. In Anbetracht des grossen zu erneuernden Gebäudebestandes können aber auch vorfabrizierte Elemente ihren Beitrag leisten. Der Beschrieb dieser Module ist in [4] zusammengestellt, der sich an Architekt, Planer und Bauherr richtet. Es wurde darauf geachtet, dass die Hinweise für die Planung auch für Fachleute verständlich bleiben, die nicht täglich ältere Mehrfamilienhäuser in einem Vorgang auf MINERGIE-P Niveau bringen.

Bei der Planung und Ausführung dieser Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung kann durchwegs der Weg der Lüftungsleitung durch das gesamte System als der „kritische Weg“ bezeichnet werden. Später wird aufgezeigt, dass dies bei Schulgebäuden noch viel deutlicher der Fall sein wird. Abbildung 5 zeigt den Aufbau eines Fassadenmoduls.

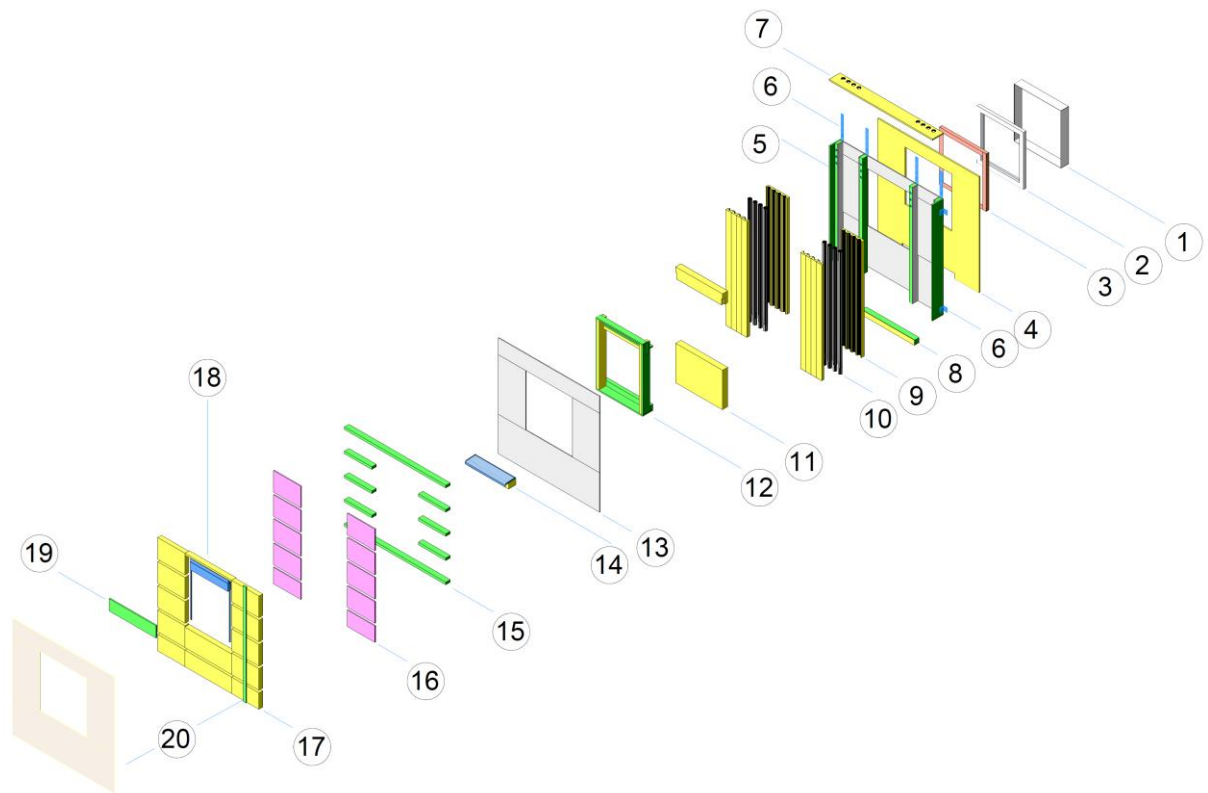


Abbildung 5: Explosionszeichnung eines Fassadenmoduls mit integrierter Lüftungsleitung für Mehrfamilienhäuser als Ausgangslage für Schulgebäude. (Auszug aus [4])

Wichtige, besonders zu beachtende Aufgaben sind z.B.:

- Minimierung des Aufwandes für Massaufnahmen
- Verarbeitung der Masse im Werk, bezogen auf Referenzen
- Umgang mit Toleranzen zwischen bestehender Konstruktion und neuem Element, auch bei Verbindungsstelle Grosselement zu Grosselement
- Gewichte der Grosselemente
- Ausrichtungen und Aufhängungen am Bau
- Vermeiden der Entstehung von neuen Fehlerquellen
- hoher Multiplikatoreneffekt bezüglich Details als auch von Planungsprozessen (z.B. Umgang mit Brandschutz bei parallel verlegten Lüftungsleitungen)
- klare Ausgangslage zur Koordination der Leitungsführung, Masse und Detailkonstruktion für Planerkoordination als auch Ausführung durch Unternehmer

Die Vorfabrikation von Fassadenmodulen hat u.a. den grossen Vorteil, dass die Montagezeit der Gebäudehüllelemente am Bau deutlich reduziert wird. Bei guter Planung der Fassadenmodule, Vorbereitung des Gebäudes auf die Montagephase und Koordination der Abschlussarbeiten (zwischen neu montierten Fassadenmodulen und bestehendem Gebäude) kann das gesamte Baufenster so verkürzt werden, dass z.B. die Sommerferien als unterrichtsfreie Schulphase optimal für eine Erneuerung genutzt werden können.

2.2.3. Vorgaben Lüftung

Die Bereitstellung einer guten Raumlufthqualität ist neben der energetischen Optimierung ein zentrales Anliegen einer ganzheitlichen Erneuerung von Schulgebäuden. Dabei stellt der hohe Frischluftbedarf aufgrund der hohen Belegungsdichte in Schulgebäuden besondere Anforderungen an gebäudetechnische Lösungen mit mechanischer Frischluftzufuhr. In diesem Abschnitt werden die Grundlagen für die Ermittlung des Frischluftbedarfs für Klassenräume, wie sie im Projekt verwendet werden, zusammengetragen und aufgezeigt.

An erster Stelle steht dabei die Frischluft-Versorgung der Personen. Für die Ermittlung des spezifischen Frischluftbedarfs einer Person werden die in Tabelle 2 aufgeführten Quellen ausgewertet. Der Frischluftbedarf wird bei den betrachteten Quellen recht einheitlich mit 25 - 30 m³/h/Pers. bewertet. Die Zielsetzung dieser Frischluftvolumenströme ist eine CO₂ Konzentration von maximal 1000 – 1350 ppm, wobei die niedrigere CO₂ Konzentration anzustreben ist. Ein Frischluftbedarf von 30 m³/h/Pers. und eine CO₂-Konzentration von 1000 ppm wird daher für die weiteren Betrachtungen im Projekt als Grundlage verwendet. An dieser Stelle soll auf weitere Grössen zur Bestimmung der Luftqualität hingewiesen werden, wie Staubfracht, Luftfeuchte, VOC-Gehalt, die jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter diskutiert werden. Die Autoren beschränken sich auf den Indikator CO₂ zur Beurteilung der Raumlufthqualität, auch wenn weitere Grössen die Wahrnehmung der Raumlufthqualität beeinflussen oder Einfluss auf gesundheitliche Aspekte wie beispielsweise das Sick-Building-Syndrom oder Gebäude-bezogene-Krankheitssymptome haben.

Quelle	Frischluftbedarf	Kommentar
SIA 2024:2006 - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik [6]	25 m ³ /h/Pers.	für Schulzimmer
SIA 382/1:2007 - Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen [7]	> 36 m ³ /h/Pers. 22 – 36 m ³ /h/Pers.	RAL 2: CO ₂ -Pegel < 950 ppm RAL 3: CO ₂ -Pegel 950 - 1350 ppm
EN 15251:2007 - Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufthqualität, Temperatur, Licht und Akustik [8]	25 m ³ /h/Pers.	zzgl. 2.5 m ³ /h/m ²
ASHRAE 62.1-2010 – Ventilation for acceptable indoor air quality [9]	18 m ³ /h/Pers.	zzgl. 2.5 m ³ /h/m ²
Bundesamt für Gesundheit [10]	25 – 30 m ³ /h/Pers.	im Artikel „Frische Luft macht Kinder munter“ in Bildung Schweiz, Heft 10a, 2009
Projekt-Partner Dänemark: ICIEE-DTU, Pawel Wargocki [11]	28.8 m ³ /h/Pers. (8 l/s/Pers.)	„Classroom ventilation must be improved for better health and learning“ in REHVA-Journal 47-4 (07-2010) S. 35 – 39

Tabelle 2: spezifischer Frischluftbedarf von Personen in Klassenzimmern

Der nächste Schritt nach der Bestimmung des personenbezogenen Frischluftbedarfs ist die Bestimmung des Frischluftbedarfs für einen ganzen Klassenraum. Zur Ermittlung des Frischluftbedarfs für einen Klassenraum wird das kantonale Bildungsgesetz Baselland [12] als Anhaltspunkt für die zu erwartende Personenzahl verwendet. Darin ist die Klassengrösse für Primar- und Sekundarschulen mit einer Richtzahl von 22 und einer Höchstzahl von 26 Kindern pro Klasse vorgegeben. Hieraus ergibt sich ein Auslegungs-Frischluftbedarf im Bereich 690 – 810 m³/h für einen Klassenraum (inkl. eine Lehrperson eingerechnet).

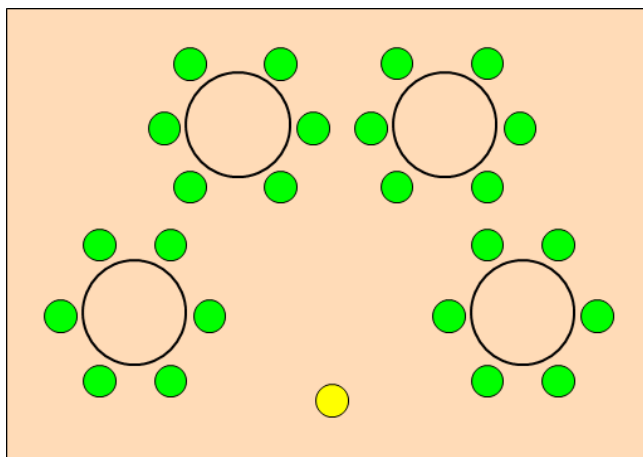


Abbildung 6: Beispiel für eine Klassenraumsituation und Personenverteilung im Grundriss mit 20-26 Schülern und 1-2 Lehrpersonen.

Für die Raumgrösse eines Klassenzimmers kann von Grundflächen im Bereich 2 - 3 m²/Person ausgegangen werden. In SIA 2024:2006 [6] wird eine typische Raumgrösse von 10 m × 7 m angenommen, was einer spezifischen Grösse von 2.8 m²/Person entspricht. Laut Aussagen kantonaler Verwaltungen sind Raumgrössen auch im etwas kleineren Bereich von 50 - 60 m² zu erwarten. Abbildung 6 zeigt beispielhaft eine Klassenraumsituation.

Die Nutzungsdauern werden, soweit sie im Projekt betrachtet werden, als 45 Minuten-Einheiten mit dazwischenliegenden Pausen von 5 oder 15 Minuten angenommen.

Für die Bewertung der Integration der Lüftungsleitungen in die vorfabrizierten Fassadenelemente sind die Dimensionen der erforderlichen Lüftungsleitungen relevant. Dazu ist nicht eine optimierte Lüftungsdimensionierung für einen spezifischen Anwendungsfall von Interesse, sondern eine realistische Dimensionierung für eine typische Klassenraumgrösse oder eine Anzahl von zusammengefassten Klassenräumen. Mit dieser Zielsetzung erfolgt die Dimensionierung der Lüftungsrohre anhand der in SIA 382/1:2007 [7] Ziffer 5.7.2.3 angegebenen Richtwerte für die Strömungsgeschwindigkeit in Luftkanälen, welche in Tabelle 3 wiedergegeben sind.

Luftvolumenstrom	Strömungsgeschwindigkeit
bis 1000 m ³ /h	3 m/s
bis 2000 m ³ /h	4 m/s
bis 4000 m ³ /h	5 m/s
bis 10000 m ³ /h	6 m/s
über 10000 m ³ /h	7 m/s

Tabelle 3: Richtwerte für die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen je nach maximalem Luftvolumenstrom.

Aus den oben aufgeführten Annahmen und Randbedingungen für den Frischlufttransport ergeben sich die in Tabelle 4 exemplarisch aufgeführten Rohrdurchmesser für Lüftungskanäle.

Luftvolumenstrom	Rohrdurchmesser
500 m ³ /h	0.24 m
750 m ³ /h	0.30 m
900 m ³ /h	0.33 m
1000 m ³ /h	0.34 m
1250 m ³ /h	0.33 m
1500 m ³ /h	0.36 m
3000 m ³ /h	0.46 m

Tabelle 4: Exemplarische Rohrdurchmesser für runde Lüftungsleitungen abhängig vom zu transportierenden Nominal-Volumenstrom

Abschliessend sollen einige eher generelle Kommentare als zusätzliche Hinweise oder Anmerkungen zu Lüftungsanlagen mit aufgenommen werden, die im Projekt aufgrund der Fokussierung auf die Fassadenintegration der Lüftungsanlage zwar berücksichtigt, aber nicht im Detail betrachtet oder untersucht werden.

Darunter fällt als erstes der Hinweis, dass ein Schulgebäude immer mehr ist als die Summe der Klassenräume. Dies drückt sich zum Beispiel darin aus, dass bei der Dimensionierung von zentralen Lüftungsanlagen die Gleichzeitigkeit der Raumnutzungen, z.B. Wechsel vom Klassenzimmer in ein Labor, zu beachten ist um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Grundsätzlich sollte man bei einem Lüftungskonzept für Nutzungen mit solch hohen und wechselnden Belegungsdichten wie im Schulbetrieb die Frischluftbereitstellung flexibel an den Frischluftbedarf anpassen können. Damit kann sowohl dem Bedarf nach Frischluft während der Nutzung als auch dem Streben nach einem minimierten Energieeinsatz entsprochen werden.

Hinsichtlich der Raumluftsituation in Klassenzimmern wird davon ausgegangen, dass im Allgemeinen eher eine Mischluftsituation vorliegt als eine stabile Schichtung. Diese Annahme führt zwar zu einem leicht erhöhten Frischluftbedarf, deckt aber im Gegenzug eine grössere Bandbreite an Nutzungssituationen ab.

Auf die Verteilung der Luft im Raum soll hier nur insofern eingegangen werden, dass die Betrachtung der Fassademodule auf der Innenseite der Aussenwand endet und von dort klassischen Luftauslässe respektive Verteilungen im Raum folgen können oder eine Anbindung an eine Lochdecke / perforierte Decke als Luftauslass, wie sie im Rahmen von SchoolVentCool in [13] untersucht und beschrieben ist (siehe auch Verweis Abbildung 49).

Abhängig vom Lehrkonzept können natürlich auch andere Nutzungsprofile als das hier vorwiegend betrachtete „45 min + Pause“ umgesetzt werden. Generell soll zur Lüftungssteuerung erwähnt werden, dass entsprechend dem Nutzungsprofil Betriebsphasen wie eine Vorspülung der Raumlufte oder eine erhöhte Lüftungsrate mit gegebenenfalls höherer Lärmemission während Pausen/Abwesenheiten mögliche Ergänzungen zum Dauerbetrieb sind.

Spezialfälle wie beispielsweise Chemielabore, Turnhallen oder Schwimmbäder werden im Projekt nicht betrachtet. Weitere Raumnutzungen in Schulgebäuden wie Lehrerzimmer, Büros oder Toiletten werden als vereinfachende Unterfälle des Klassenzimmers betrachtet, welche von der Lösung für ein Klassenzimmer abgeleitet werden können.

2.2.4. Brandschutzvorschriften

Anforderungen der gültigen Brandschutzrichtlinien haben einen Einfluss auf die Planung und Ausführung bei der Erneuerung von Schulbauten mit vorfabrizierten Fassadenelementen mit integrierter Lüftung. Dabei wird vorwiegend auf die Anforderungen im Zusammenhang mit der Frischluftversorgung eingegangen, da diese einen neuen Aspekt bei der Erneuerung mit vorfabrizierten Fassadenelementen darstellen.

Zur Integration der Luftleitungen in die vorfabrizierten Fassadenelemente wird auf den Schlussbericht des Projektes „CCEM-Nachhaltige Wohnbaurerneuerung“ [4] verwiesen. Dort sind im Kapitel 2.2.4 Lösungen zum Brandschutz detailliert beschrieben.

Unterschiede zu den dort behandelten Wohnbauten sind in Bezug auf lufttechnische Anlagen vorwiegend die Aspekte, dass einerseits in Schulbauten die Korridore in den meisten Fällen auch Fluchtwege sind und andererseits die grösseren Rohrdimensionen mit einer abweichenden Führung der Luftleitungen und Brandabschnittbildung einhergeht.

Die Situation, dass Korridore Fluchtwege sind, führt in der Schweiz zur Anwendung der Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 der VKF-Brandschutzrichtlinie „Lufttechnische Anlagen / 26-30d“ [14], die wie folgt lauten:

5.1.1 Luftführung in Fluchtwegen

Fluchtwege dürfen nicht als Ersatz für Lüftungskanäle für die offene Luftführung verwendet werden.

5.1.2 Belüftung von Fluchtwegen

1 Für Treppenhäuser (inkl. Schleusen) sind separate lufttechnische Anlagen vorzusehen.

2 Die Belüftung von brandabschnittsbildenden Fluchtkorridoren hat grundsätzlich getrennt von anderen lufttechnischen Anlagen zu erfolgen. Dabei sind geschossweise Unterteilungen mit Brandschutzklappen, separate Kanalführungen oder separate Anlagen erforderlich.

Die Folge daraus ist, dass in der Schweiz keine Überströmung von Klassenzimmern in Korridore und Abluftfassung in Korridoren realisiert werden kann, wie es beispielsweise im Projektverlauf bei Anlagenbesichtigungen in Österreich vorgefunden wurde. Somit müssen die Zuluft und die Abluft bei einer zentralen Lüftungsanlage bis zu jedem Klassenzimmer hingeführt werden, was zu einem grösseren benötigten Bauvolumen für Luftleitungen führt.

Die Unterschiede von Wohnbauten zu Schulbauten bezüglich Brandabschnitten liegen zum einen darin, dass bei Klassenzimmern jeder Raum einen eigenen Brandabschnitt bildet. Dies ist festgehalten in der VKF-Brandschutzrichtlinie „Schutzabstände Brandabschnitte / 15-03d“ [15] in Kapitel 3.10.6, welches lautet „In Schulbauten sind Klassenzimmer sowie Spezialräume (z. B. Werk-, Labor-, Bibliotheksräume) als Brandabschnitte zu erstellen.“. Dementsprechend sind zum Beispiel auch Türen mit Feuerwiderstand auszubilden.

Allerdings muss damit nicht für jeden Raum, welcher von einer zentralen Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt wird, eine Brandschutzklappe vorgesehen werden. Die Anforderungen hierfür sind in der VKF-Brandschutzrichtlinie „Lufttechnische Anlagen / 26-30d“ in Kapitel 4.8.2 festgehalten und im zugehörigen Anhang respektive Abbildung 7 dargestellt.

zu Ziffer 4.8.2 Einbau (Brandschutzklappen)

Gebäude mit verschiedenen Nutzungen

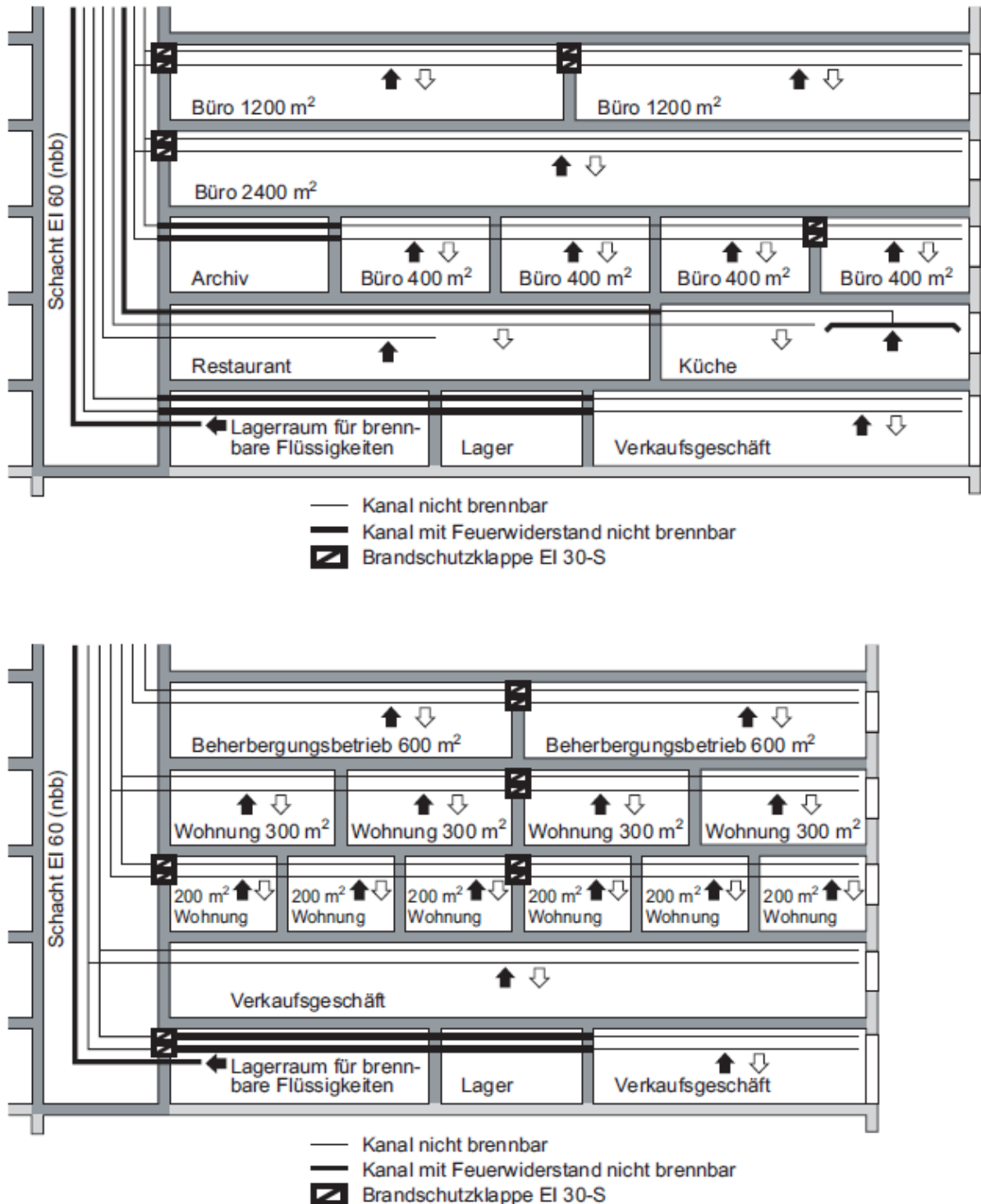


Abbildung 7: Darstellung zur Anordnung von Brandschutzklappen und lüftungstechnischen Zusammenfassung von Räumen aus Kapitel 4.8.2 der VKF-Brandschutzrichtlinie „Lufttechnische Anlagen / 26-30d“ [14].

In den verschiedenen europäischen Ländern sind somit die Brandschutzvorschriften ungleich. Die in Abbildung 8 aufgeführten Fotos zeigen die im Passivhausstandard erneuerte Volksschule Sörg im Bundesland Kärnten in Österreich. Die Gebäudehülle wurde auf den neuesten Stand gebracht. Die Lüftungsrohre wurden im Innern des Gebäudes geplant und ausgeführt. Dazu wurde der Korridor als offene Luftführung benutzt. Das hat Folgen für die Lüftungsplanung. Wären die Lüftungsleitungen in den vorfabrizierten Fassadenelementen untergebracht, so wäre bei dieser Lösung die Zuluft-Führung in der Fassade ausreichend, die Abluft könnte wie hier dargestellt im Innern des Gebäudes gefasst und geführt werden. Diese Lösungsvariante ist in der Schweiz nicht möglich, es müssten beide Luftstränge in der Fassade oder die Abluft im Flur in einem Kanal geführt werden.



Abbildung 8: Oben links: erneuertes Schulgebäude „Volksschule Sörg“ in Österreich / oben rechts: Die Lüftungsrohre für Zuluft sammeln sich im Korridor / unten links: Überströmung der Klassenzimmer- Abluft in den Korridor / unten rechts: Abluftfassung im Klassenzimmer

In Tabelle 5 ist ein grober Überblick über die unterschiedlichen Brandschutz-Bestimmungen in den beteiligten Ländern zusammengefasst wiedergegeben.

A (Österreich)	<i>Allgemeine Bestimmungen:</i> OIB-Richtlinie 2 (nicht in allen Bundesländern verpflichtendes Landesgesetz)³ <i>Spezielle Bestimmungen:</i> OIB-Richtlinie 2 (Punkt 7.2) und "Richtlinie Brandschutz Schulen"⁴ in Wien
----------------	---

³ http://www.oib.or.at/RL2_301211%20Revision.pdf (25.04.2012)

⁴ <http://www.wien.gv.at/wirtschaft/auftraggeber-stadt/gebauedemanagement/pdf/richtlinie-brandschutz-schulen.pdf> (25.04.2012)

B (Belgien)	<i>Allgemeine Bestimmungen (Flandern):</i>⁵ <i>Spezielle Bestimmungen (Antwerpen):</i>⁶ - Jedes Gebäude muss einen Ausgang zur Strasse oder zum Innenhof besitzen. Dort müssen sich alle Personen in min. 8m Abstand vom Gebäude versammeln können. - Gebäude geringer Höhe brauchen zwei unabhängige Ausgänge für 100 Personen je Geschoss oder Brandabschnitt - Gebäude mittlerer- und grosser Höhe brauchen zwei unabhängige Ausgänge für 50 Personen je Geschoss oder Brandabschnitt - Brandabschnitte mit mehr als 500 Personen brauchen drei unabhängige Ausgänge. - Die Treppenhäuser sind als eigener Brandabschnitt auszubilden, mit Rauchabzug und Dachfenster - Jeder Raum (exkl. Erdgeschoss) braucht einen Zugang zu einem zweiten Treppenhaus, unabhängig vom ersten - Maximaler Abstand eines gefangenen Korridors zum Fluchtweg beträgt 15m - Jeder Punkt, in einem für Schüler zugänglichen Raum, darf max. 45m vom ersten- und max. 80m vom zweiten Ausgang entfernt sein
DK (Dänemark)	Die Brandschutzbestimmungen sind ähnlich wie die in der Schweiz
CH (Schweiz)	<i>Allgemeine Bestimmungen:</i> gemäss VKF⁷ <i>Spezielle Bestimmungen:</i> - Brandschutzabschnittswände müssen aus nicht brennbarem Material bestehen, in Abhängigkeit der Geschosshöhe (1.-4. Geschoss EI 30, 4.-8. Geschoss EI 60). Brandschutzabschnittswände aus brennbarem Material siehe VKF1 Kapitel 3.10.1 - Fluchtwege dürfen sich nicht in offenen Durchströmbereichen der Lüftung befinden (siehe VKF1 Kapitel 5.1.1) - Für Fluchtwege und Treppenhäuser sollte eine separate Lüftung vorgesehen werden - Klassenzimmer und Fachräume sind in Schulgebäuden als separate Brandschutzabschnitte auszubilden (siehe VKF2 Kapitel 3.10.6) - Fluchtwege dürfen sich nicht in offenen Durchströmbereichen der Lüftung befinden (siehe VKF1 Kapitel 5.1.1) - Für Fluchtwege und Treppenhäuser sollte eine separate Lüftung vorgesehen werden - Klassenzimmer und Fachräume sind in Schulgebäuden als separate Brandschutzabschnitte auszubilden (siehe VKF2 Kapitel 3.10.6)

Tabelle 5: Brandschutzanforderungen im internationalen Vergleich bei den beteiligten Projektpartnern

Weitere Aspekte des Brandschutzes müssen entsprechend der gültigen Anforderungen und Richtlinien ausgeführt werden.

⁵ <http://old.fireforum.be/page.aspx?PageID=629> (25.04.2012)

⁶ http://www.antwerpen.be/docs/Stad/Onafhankelijke_diensten/Brandweer/preventie/specifieke%20gebouwen%20en%20instellingen/gemeentelijk%20reglement%20scholen.pdf (25.04.2012)

⁷ <http://www.vkf.ch/> (25.04.2012)

2.2.5. Bauliche Rahmenbedingungen

Es werden vorwiegend die typischen Räume betrachtet wie Klassenzimmer, Gruppenräume, Korridore, Treppenhäuser. Nicht Bestandteil dieser Untersuchung sind Turnhallen, Schwimmbäder, Chemieräume.

Energieverbrauch- und Energiebedarf

Die erhobenen Daten des Energieverbrauchs- bzw. Energiebedarfs der Fallstudien sind aus folgenden Gründen für eine vergleichende Analyse nur eingeschränkt verwendbar:

- Daten des Heizenergiebedarfs für einzelne Gebäude sind nicht verfügbar, z.T. waren die Angaben nur für die gesamte Schulanlage verfügbar
- Detailangaben z.B. Einbezug des Wirkungsgradverlustes der Heizquelle oder Energieverbrauch z.B. ab Übergabestation (Endenergie) nicht vorhanden
- Entweder Daten des Heizenergiebedarfs oder des Heizenergieverbrauchs vorhanden
- Daten des Energiebedarfs sind aufgrund unterschiedlicher Berechnungsverfahren der beteiligten Länder nur eingeschränkt vergleichbar

Aus diesen Gründen werden die verfügbaren Daten des Energieverbrauchs- bzw. des Energiebedarfs der Fallstudien (Anhang 1 und 3) nicht weiter verwendet. Stattdessen werden in einer Literaturrecherche das bekannte Vorwissen zum Heizenergiebedarf, den Transmissionswärmeverlusten und der energetischen Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Gebäudgrundformen von Schulgebäuden zusammengetragen.

Heizenergiebedarf und Transmissionswärmeverluste: Die nachfolgend dargestellten Bedarfszahlen beziehen sich auf die Nutzungskategorie Grundschule, den Referenzstandort⁸ und die Bruttogrundfläche.⁹

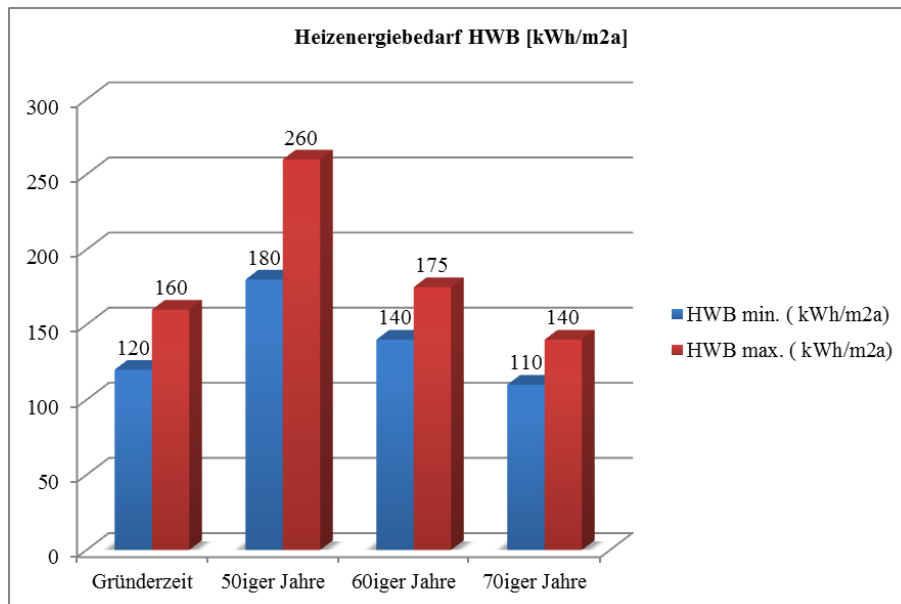


Abbildung 9: Heizenergiebedarf unterschiedlicher Bauperioden, Standort Österreich [29].

Die Gebäude der 50er Jahre haben die schlechtesten Energiekennwerte. Zum einen ist dies auf den schlechten Wärmedämmzustand der Konstruktionen, zum anderen auf ihre wenig kompakte Bauweise zurückzuführen.

⁸ Referenzstandort gemäss OIB-Leitfaden 1999

⁹ Bruttogeschossfläche gemäss ÖNORM B 1800

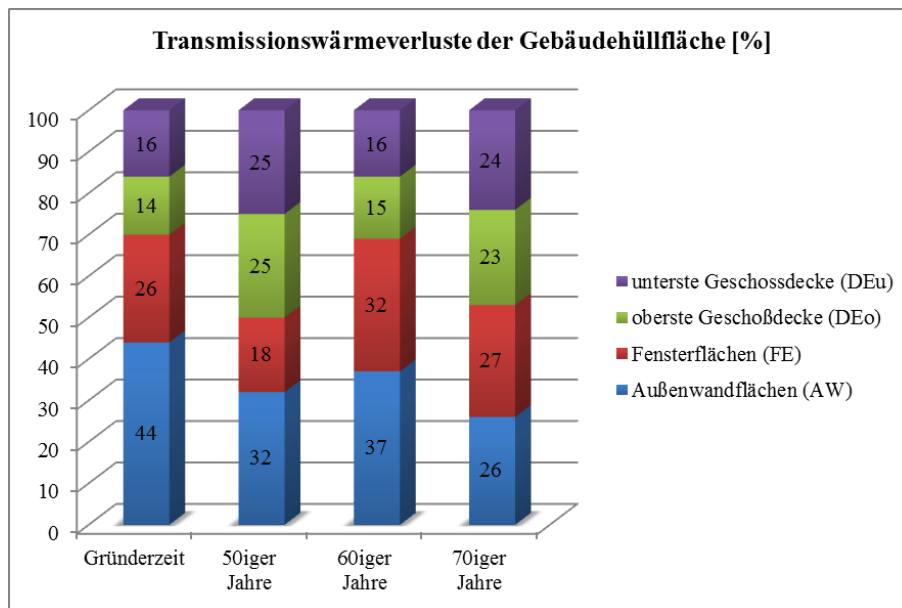


Abbildung 10: Transmissionswärmeverluste der Gebäudehüllfläche unterschiedlicher Bauperioden [29]

Energetische Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Gebäudegrundformen:

Mit Hilfe eines Datensatzes von 70 Referenzgebäuden aus dem Rhone Alpes Gebiet in Frankreich, werden sechs Grundformen identifiziert: rechteckig (R), quadratisch (C), L-förmig (L), U-förmig (U), H-förmig (H), und Hofgebäude (P).

Das Referenzgebäude beinhaltet folgende Parameter: Klimazone, Gebäudeausrichtung, Volumen und Kompaktheit, verglaste Flächen, Verschattungssysteme und Isolationsmaterialien [30] Seite 2652 – 2654.

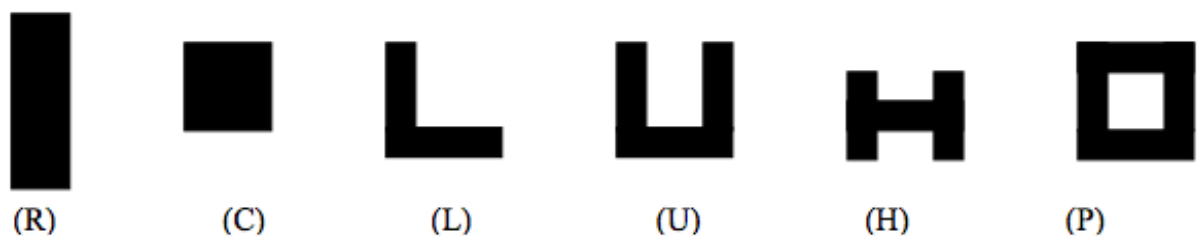


Abbildung 11: Grundformen unterschiedlicher Schulgebäude [30]

Die quadratische Grundform (C) ist mit Abstand die energetisch leistungsfähigste. Alle anderen Grundformen brauchen aufgrund ihrer Kompaktheit zwischen ca. 5% und ca. 10% mehr Energie.

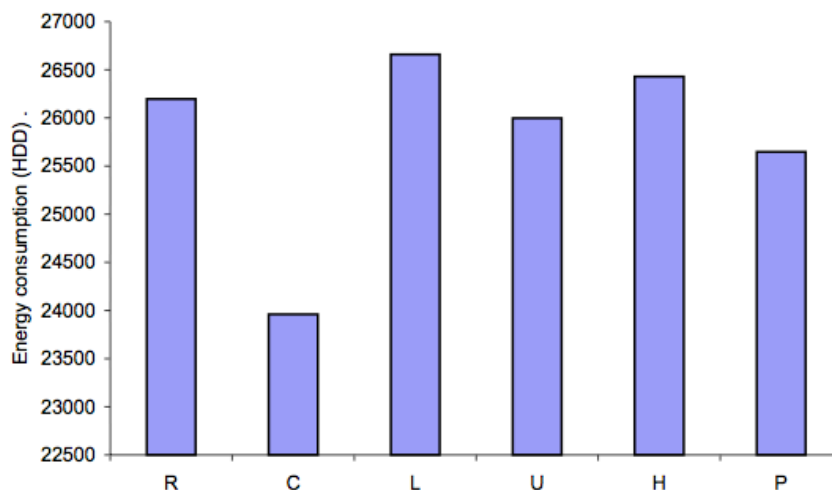


Abbildung 12: Energetische Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Gebäudegrundformen [30]

Unterrichtsräume und Personenbelegungsdichte

Die Grösse der Unterrichtsräume und der sich darin befindenden Anzahl Personen ist ausschlaggebend für die erforderliche Frischluftmenge pro Zeiteinheit und damit der Dimensionierung der Lüftungsanlage. Die Dimensionen der Lüftungsrohre sind wiederum relevant für die Konstruktionsmasse und Werkdetailplanung der vorfabrizierten Fassadenmodule.

Die nachfolgenden Angaben stammen aus einer Erhebung aus dem Jahr 2001, in der 106 Schulhäuser aus der ganzen Schweiz miteinander verglichen wurden [36]. Sie können so zu Annahmegrössen für die lufttechnischen Berechnungen dienen.

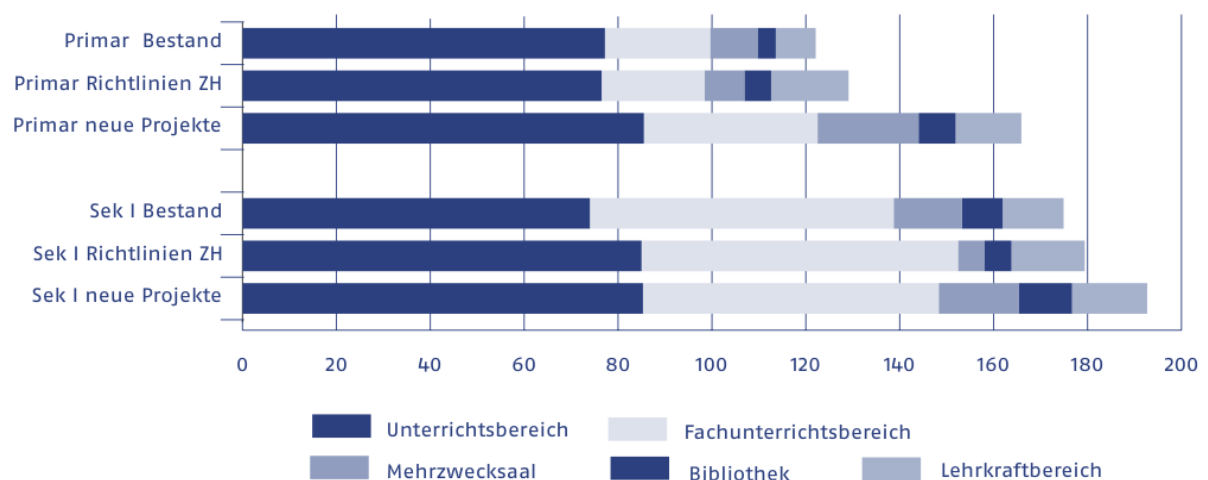


Abbildung 13: Durchschnittliches Flächenangebot in m² nach Raumkategorie [36]

Die Bandbreite für die Grösse von Unterrichtsräumen im Bestand beträgt 64 m² - 81 m² (durchschnittlich 78 m² in der Primarstufe und 75 m² in der Sekundarstufe). Die Klassen sind mit 17.4 – 20.5 Schüler belegt [36]. Im Vergleich dazu beträgt die Grösse der Unterrichtsräume in den Fallstudien der verschiedenen Länder zwischen 43 m² und 100 m².

Flächenaufteilungen nach Hauptnutzfläche, Nebennutzfläche, Funktions- und Verkehrsfläche

Neben der Grösse verschiedener Raumkategorien ist das Verhältnis verschiedener Nutzungen ein weiterer Faktor für die Dimensionierung obengenannter Faktoren. Aufgrund fehlender Daten (Plangrundlagen der Schulgebäude) konnte die Geschossflächenaufteilung, gemäss SIA 416, nur für einen Teil der untersuchten Fallstudien durchgeführt werden. Die in den Fallstudien vorgefundenen Flächenanteile betragen: Hauptnutzfläche (HNF) 37% - 61%,

Nebennutzfläche (NNF) 4% - 6%, Verkehrsfläche (VF) 22% - 45%, Funktionsfläche (FF) 1% - 6% und Konstruktionsfläche 7% - 18%. Die z.T. grossen Differenzen der Flächenanteile sind auf die verschiedenen Erschliessungssysteme, Nutzung und der Parkflächen (Einstellhalle) zurückzuführen. Die Vergleichbarkeit ist deshalb nur sehr eingeschränkt, deshalb wurden in der Literatur statistische Daten recherchiert, welche nachfolgend dargestellt sind.

Die in der folgenden Abbildung beschriebenen Flächenaufteilungen zeigen den Anteil an Hauptnutzflächen (z.B. Klassenzimmer), Nebennutzflächen (z.B. Sanitärbereiche) und Funktions- und Verkehrsflächen (z.B. Korridore). Typische Flächenaufteilungen von Schulgebäuden betragen: Hauptnutzfläche ca. 62%, Nebennutzfläche ca. 10%, Funktions- und Verkehrsfläche ca. 28% siehe Abbildung 14.



Abbildung 14: Flächenaufteilungen verschiedener Schultypen nach Hauptnutzfläche, Nebennutzfläche, Funktions- und Verkehrsfläche in % (links 0%, rechts 100%) [37] Seite 242

Ein weiteres wichtiges Element für die Fassadenmodulplanung ist die Geschosshöhe. Sie ist ein Mass für die Anpassungsfähigkeit der Schulgebäude. Mit zunehmenden Geschosshöhen steigt die Flexibilität für Veränderungen. So können in den Unterrichtsräumen zusätzliche Installationen in der Geschosdecke integriert werden, z.B. Lüftungsverteilungen mit Lochdecken um Komfortsteigerungen zu erreichen. Weitere Aspekte dazu sind in Kapitel 3.4, (bei 3. Durchdringungen) beschrieben. Die durchschnittliche Bruttogeschosshöhe von Schulgebäuden beträgt 4.00 m am Beispiel von 26 Fallstudien des Projekts IEA Annex 36 [27]. Im Vergleich dazu betragen die Geschosshöhen der Fallstudien zwischen 3.10 m und 3.75 m.

In Tabelle 6 sind unterschiedliche Anforderungen an die Unterrichtsräume dargestellt, die einen Vergleich der beteiligten Länder zeigen.

A (Österreich)	Richtlinien: Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau ÖiSS in Überarbeitung)¹⁰ - 24 Schüler bis 10 Jahre ca. 50 m², über 10 Jahre ca. 55 m² (bis zu 30% für zusätzliche Bewegungsflächen sowie Stellflächen für Ablagen) Landesgesetze Bundesländer: wie z.B. Niederösterreich im "NÖ PFLICHTSCHULGESETZ" Paragraph 88¹¹ - mindestens 2 m² pro Schüler (schulartspezifischen Klassenschülerhöchstzahlen sind zu beachten) - Klassenzimmer etwa 60 m², Gruppenräume etwa 40 m² - Form der Klassen: Raumlänge max. 10.5 m, Raumtiefe min. 6 m, vorderer Sitzplatz muss mind. 2 m von der Tafel entfernt sein
----------------	--

¹⁰ www.oeiss.org

¹¹ http://www.noel.gv.at/Bildung/Kindergaerten-Schulen/Pflichtschulen/bildungseinrichtungen_schulbau_richtlinien.html

B (Belgien)	N/ A
DK (Dänemark)	In Dänemark gibt es keine max. zulässige Anzahl von Schülern pro m ²
CH (Schweiz)	<i>Richtlinien am Beispiel des Kantons Zürich der Primar- und Sekundarstufe (Kanton Bildungsdirektion)[38]</i> - Bodenfläche 2.5 m² pro Schülerin und Schüler - Rauminhalt 6.0 m³ pro Schülerin und Schüler - Raumhöhe beträgt 3.00 m - Die Fensterfläche der Unterrichtsräume hat 20 % der Bodenfläche zu betragen - Maximale Raumtiefe bei einseitiger Belichtung für Unterrichtsräume: 7.5 m - Klassenzimmer erhalten wenn möglich die Hauptbelichtung von den Sektoren Ost / Süd / West - Erschliessungsfläche etwa 30 % der Nutzfläche - Klassenzimmer / Kindergartenraum 72 m²

Tabelle 6: Anforderungen an Unterrichtsräume im internationalen Vergleich der beteiligten Projektpartner

Verhältnis Fensterfläche zu opaker Fassadenfläche

Eine zentrale Lüftung in den vorfabrizierten Modulen benötigt einen möglichst grossen Anteil opaker Fassadenflächen zur Leitungsführung. Das Verhältnis opaker Fassadenflächen zur Fensterfläche ist deshalb relevant und wird in den Fallstudien in Bezug auf das gesamte Gebäude und der einzelnen Fassadenseiten untersucht.

Das Verhältnis der Fensterfläche zu opaken Fassadenflächen in den Fallstudien beträgt 1 zu 1.37 bis 1 zu 2.59 und im Durchschnitt 1 zu 2.05, d.h. die opaken Fassadenflächen sind durchschnittlich rund doppelt so gross wie die Fensterflächen. Diese Verhältnisse alleine genügen nicht für die Abklärung, ob genügend opake Flächen zur Führung vertikaler Lüftungsleitungen vorhanden sind. Bei breiten Fensterfronten entscheidet auch die opake Breite zwischen den Fenstern, ob eine vertikale Führung überhaupt möglich ist.

2.2.6. Behaglichkeitsbewertung

Im Folgenden werden für Schulzimmer relevante Nutzungsrandbedingungen aufgeführt, welche einen Anhaltspunkt für die Behaglichkeitsbewertung in Schulräumen geben und auf der SIA 2024:2006 Standardnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik basieren.

Raum-Temperatur

Winter:	Auslegung: 21.0 °C	Behaglichkeitsbereich: 20.0 °C – 24.0 °C
Sommer:	Auslegung: 26.0 °C	Behaglichkeitsbereich: 22.0 °C – 26.5 °C

Schall: Gesamtbeurteilungspegel für Haustechnische Anlagen: $L_{H,tot} \leq 33 \text{ dB(A)}$

maximale Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich $v_{50\%}$

Winter:	Auslegung: 0.13 m/s	Behaglichkeitsbereich: 0.12 m/s – 0.15 m/s
Sommer:	Auslegung: 0.18 m/s	Behaglichkeitsbereich: 0.13 m/s – 0.19 m/s

Beleuchtungsstärke: 500 Lux

Im internationalen Austausch wurde von diesen messbaren Richtwerten für die Behaglichkeitsbewertung von dem Architekten Gerhard Kopeinig auf dem Treffen in Graz der Schall-Beurteilungspegel von 33 dB(A) zur Diskussion gestellt. Kopeinig sprach sich im Zusammenhang mit der Erfahrung von Schulerneuerung in Neumarkt / Steiermark [16], für einen Schallpegel durch Haustechnische Anlagen im Bereich 25 bis 28 dB(A) in Klassenräumen aus.

3. Ergebnisse

3.1. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

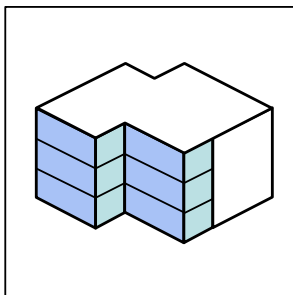
Die Vorarbeiten und Resultate entstanden im disziplinübergreifenden, institutionalisierten Austausch und in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Ländern und der Zusammenarbeit innerhalb des Schweizer Teams. Die Resultate wurden national und international publiziert (BRENET Status Seminar 2012, PASSIVEHOUSE Symposium 2012 Brüssel, Prag CLIMA 2013). Weiterhin werden die Ergebnisse in die Lehre eingebracht. Folgeprojekte zur Unterstützung der Umsetzung in der Praxis werden angestrebt.

Die Resultate der beteiligten internationalen Institute sind unter <http://www.schoolventcool.eu> zugänglich.

3.2. Typologische Analyse der Fallstudien

Gesamt- und Fokustypen stehen im Zentrum der typologischen Analyse der Fallstudien und stellen die Verbindung der Typologie zur Konstruktion- und Lüftung im Projekt School-VentCool dar.

Gesamttypen werden verwendet, um im Sinne der Zielsetzung eine grundsätzliche Einteilung der Schulgebäude vorzunehmen. Die relevanten Merkmale, die zur Bildung dieser Typen verwendet werden, sind Varianten von: Gebäudeposition, Geschossanzahl und Art der Fassade. Abbildung 15 zeigt beispielhaft den Gesamttypus. Diese Merkmale werden im Folgenden als *Leitmerkmale* bezeichnet. Die Gesamttypen erleichtern die übersichtliche Darstellung von Gebäudetypen und um den Beschrieb von deren Häufigkeit. Sie werden mit Hilfe der Referenzgebäude aus den Fallstudien anschaulich dargestellt.



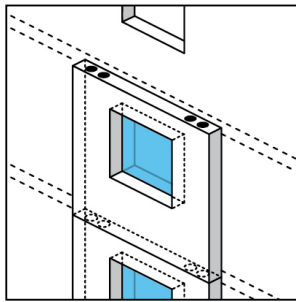
1.) Gesamttypen (GT)

- Charakteristiken von Gebäudetypen beschreiben
- Häufigkeit von Gebäudetypen beschreiben

Gebäudetypen von Schulgebäuden

Abbildung 15: Gesamttypen und deren Anwendungsbereiche im Projekt SchoolVentCool

Fokustypen werden verwendet, um eine spezifische Einteilung der Gebäudeteile, im Sinne der Zielsetzung, vorzunehmen. Die relevanten Merkmale die zur Bildung dieser Typen verwendet werden sind Varianten von: Brüstungs- und Sturzhöhen, Fensterabstände von Loch-Skelett- und Bandfassaden. Diese Merkmale werden im Folgenden als *Fokusmerkmale* bezeichnet. Mit Hilfe von solchen Leitlinien erleichtern die Fokustypen die technische Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule. Diese Leitlinien beinhalten die Wahl des Lüftungssystems- und deren Verteilung, die Austauschbarkeit der bestehenden Bausubstanz sowie eine mögliche Lastabtragung.



2.) Fokustypen (FT)

- Leitlinien für die technische Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule

Fassadentypen von Schulgebäuden

Abbildung 16: Fokustypen und deren Anwendungsbereiche im Projekt SchoolVentCool

Schnittstelle Typologie zu Konstruktion und Lüftung

Die Schnittstelle der Typologie zu Konstruktion und Lüftung ist durch die oben beschriebenen Fokusmerkmale gegeben. Nachfolgend werden diese Merkmale näher erläutert:

- Brüstungs- und Sturzhöhen
- Fensterabstände
- Raumlänge (fassadenseitig)
- Raumhöhe

Die wichtigsten Fokusmerkmale sind die Brüstungshöhen, Sturzhöhen und Fensterabstände. Mit den Brüstungs- und Sturzhöhen wird der zur Verfügung stehende Platz für die vertikale und horizontale Lüftungsverteilung in der Aussenwand erfasst, wobei die Konstruktion der Aussenwand die Möglichkeit der Durchdringung bestimmt (z.B. ist keine Durchdringung für Lüftungsleitungen im Bereich eines tragenden Sturzes möglich). Mit der Massaufnahme der Fassadenöffnungen wird die Lage der Fenster zueinander (Fensterabstand) und zu Gebäudeaussenkanten bestimmt. Diese Merkmale sind relevant, um die vertikale und horizontale Lüftungsverteilung zu planen. Daneben sind die fassadenseitige Raumlänge und die Raumhöhe relevant. Die erfasste Raumgeometrie beschreibt die fassadenseitige Raumlänge typischer Klassenzimmer, um den zur Verfügung stehenden Platz für z.B. Einzelraumlüftungsgeräte zu evaluieren. Die Raumhöhe der Klassenzimmer gibt unter anderem darüber Auskunft, ob der bestehende Raum z.B. auch mit einer abgehängten Lochdecke zur Lüftungsverteilung ausgestattet werden kann (siehe Abbildung 49).

Aus der Kombination von den Fokusmerkmalen Brüstungs- und Sturzhöhen werden Fokustypen abgeleitet, welche spezifische Kategorien von Gebäudeteilen repräsentieren. Der Fokustyp FT S2 zum Beispiel beschreibt eine Skelettfassade mit folgenden Merkmalen: Brüstungshöhe > 60 cm, Sturzhöhe > 15 cm und Fensterabstand < 60 cm (siehe Abbildung 30). Die Massgrößen hängen von den Durchmessern der Lüftungsleitungen ab und können somit variieren.

Fallbeispiele in SchoolVentCool

Basierend auf dem Expertenwissen der Projektpartner werden in einem ersten Schritt 31 typische Schulgebäude aus Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz anhand einer Merkmalcheckliste (Anhang 2) erfasst. Die Dokumentation erfolgte mit je einem Foto und den Eckdaten der Schulgebäude (Anhang 1). Die eingereichten Fallstudien beinhalten typische Schulgebäude der Bauperiode 1919-1980 der Primar- und Sekundarstufe (inkl. Berufsschulen). Kindergärten und Hochschulen bzw. Universitäten werden nicht untersucht. Aufgrund denkmalpflegerischer Beschränkungen werden drei Fallstudien von der weiterführenden Analyse ausgeschlossen. In Abbildung 17, Abbildung 18 sowie in Tabelle 7 sind die Fallbeispiele kurz zusammengefasst vorgestellt.

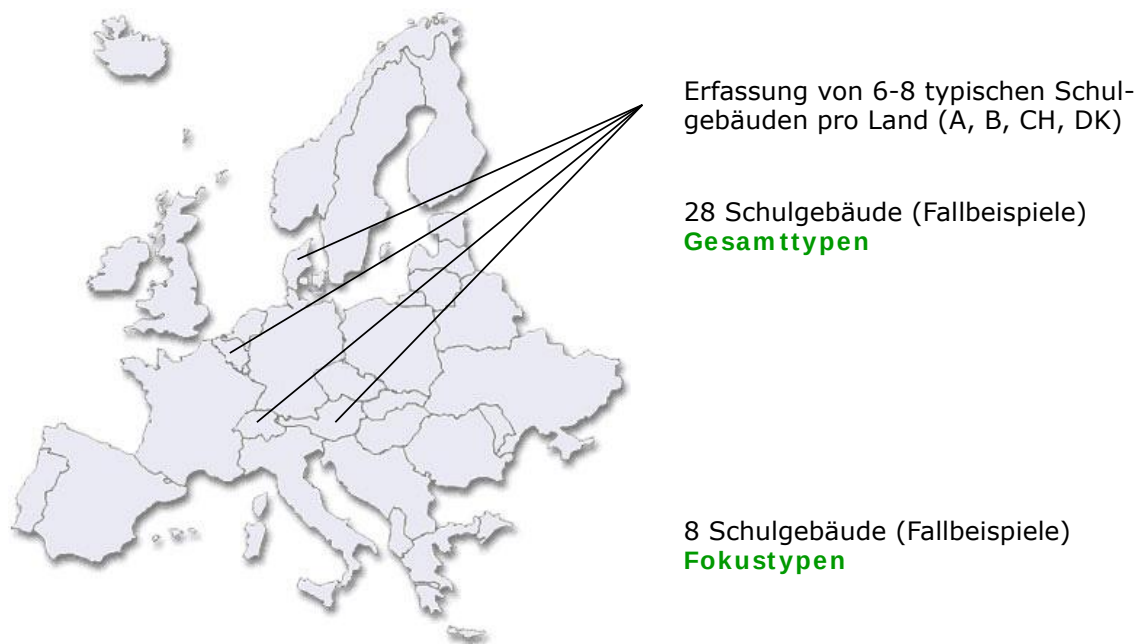


Abbildung 17: Zusammenstellung Fallbeispiele aus beteiligten Ländern im Projekt SchoolVentCool

In einem zweiten Schritt werden 8 Fallbeispiele ausgewählt, die in einer typologischen Analyse vertieft untersucht werden. Diese umfasst die Bereiche Nutzung, Konstruktion, Energieverbrauch, Gestaltung und Morphologie, und ist in den Fokusbereichen Schulanlage, Schulgebäude, Klassenzimmer und Gebäudetechnik gegliedert (Anhang 3).



Abbildung 18: Fallstudien der Projektpartner aus Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz (DK04, DK08 sowie CH03, CH04 in Darstellung nicht enthalten)

Gesamthaft wurden 28 Fallstudien analysiert: 6 aus Österreich (A), 6 aus Belgien (B), 8 aus Dänemark (DK), 8 aus der Schweiz (CH). Die Projekte sind nachfolgend aufgelistet und nach Länder geordnet			
A01	Landesberufsschule Gleinstätten, Gleinstätten 180, 8443 Gleinstätten	CH03	Schulanlage Hinterzweien Nr. 15, Schützenhausstrasse 15, 4132 MuttENZ
A02	Landesberufsschule Graz 7 und 8, Haus 12, Hans-Brandstetter-Gasse 12, 8010 Graz	CH04	Schulanlage Gründen Nr. 47, Gründenstrasse 47b, 4132 MuttENZ
A03	Landwirtschaftliche Fachschule Grottenhof-Hardt, Hardter Straße 27, 8052 Thal bei Graz	CH05	Schulanlage Fröschmatt Nr. 7, Gartenstrasse 7, 4133 Pratteln
A04	Fachschule für Land- und Ernährungswirtschaft Haidegg, Ragnitzerstraße 193, 8047 Graz	CH06	Schulanlage Känelmatt II Nr. 11, Känelmattweg 11, 4106 Therwil
A05	Landwirtschaftliche Fachschule Hatzendorf, Hatzendorf 110, 8361 Hatzendorf	CH07	Schule Baeumlihofgymnasium, Spezialtrakt, Zu den drei Linden 80/82, 4058 Basel
A06	Land- und forstwirtschaftliche Fachschule Kirchberg am Walde, Erdwegen 4, 8232 Grafen-	CH08	Schule Hirzbrunnenschulhaus , Zu den drei Linden 80, 4058 Basel
B01	Schulanlage Petzalozzistraat 5, 2020 Antwerpen	DK01	Schulanlage Ny hollænder skolen Gebäude Nr. 1 Hollændervej 3, 1855 Frederiksberg
B02	Schulanlage Doctor Decrolystraat 2, 2060 Antwerpen	DK02	Schulanlage Virum skole Gebäude Nr. 4, Skolebakken 9, 1 sal 2830 Virum
B03	Schulanlage Columbiastraat 4, 2060 Antwerpen	DK03	Schulanlage Rungstedsskolen Building Nr. 1, Østre Stationsvej 1 A, 2960 Rungsted Kyst
B04	Schulanlage Stedelijke Basischool "Columbia", Columbiastraat 6, 2060 Antwerpen	DK04	Schulanlage Søndermarksskolen Building Nr. 1, Hoffmeyersvej 32, 2000 Frederiksberg
B05	Schulanlage Desguinlei 33, 2020 Antwerpen	DK05	Schulanlage Kongevejens skole Building Nr. 1, Kongsvænget 10, 2830 Virum
B06	Schulanlage Frans Van Hombeeckplein 29, 2600 Antwerpen	DK06	Schulanlage Trongårdsskolen Building Nr. 1, Trongårdsvej 50, 2800 Kgs. Lyngby
CH01	Schulanlage Spiegelfeld Nr. 7, Im Kugelfang 7, 4102 Binningen	DK07	Schulanlage Kildegaards (Privatschule) Nr. 3, Kildegårdsvej 87, 2900 Hellerup
CH02	Schulanlage Brislachstrasse Nr. 54, 4242 Laufen	DK08	Schulanlage Sjælsøskolen Building Nr. 3, Ravnsnæsvej 120, 3460 Birkerød

Tabelle 7: Fallstudien der Projektpartner aus Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz (Fettdruck – vertieft untersuchte Fallbeispiele)

Gesamttypen

Wie erwähnt werden Gesamttypen aus der Kombination relevanter Merkmale (Leitmerkmale) gebildet. Nachfolgend werden die Leitmerkmale (Abbildung 19) und die Bildung der Gesamttypen geschildert und gezeigt, wie diese in Bezug zu den Massnahmen der vorfabrizierten Erneuerung stehen.

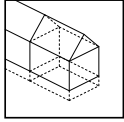
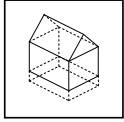
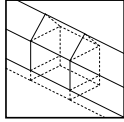
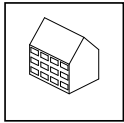
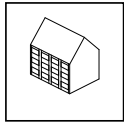
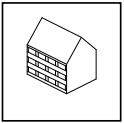
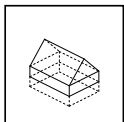
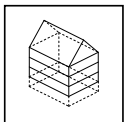
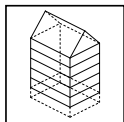
Leitmerkmal	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Gebäudeposition	Endgebäude 	Freistehendes Gebäude 	Mittelgebäude 
Fassadentyp	Lochfassade 	Skelettfassade 	Bandfassade 
Geschossanzahl	1 Geschoss 	2-3 Geschosse 	über 3 Geschosse 

Abbildung 19: Leitmerkmale und deren Varianten im Projekt SchoolVentCool

Relevante Merkmale der Gebäudeposition

Mit der Gebäudeposition wird die Zugänglichkeit der Schulgebäude innerhalb einer Schulanlage beschrieben. Die Zugänglichkeit bei Anlieferung und Montage der vorfabrizierten Module, sowie deren Lagerungsmöglichkeit während der Bauphase sind wichtige Kriterien zur Verwendung von vorfabrizierten Modulen wie auch zur Optimierung von Bauprozessen. Zudem kann die Gebäudeposition Hinweise über Etappierungen der Erneuerung geben.

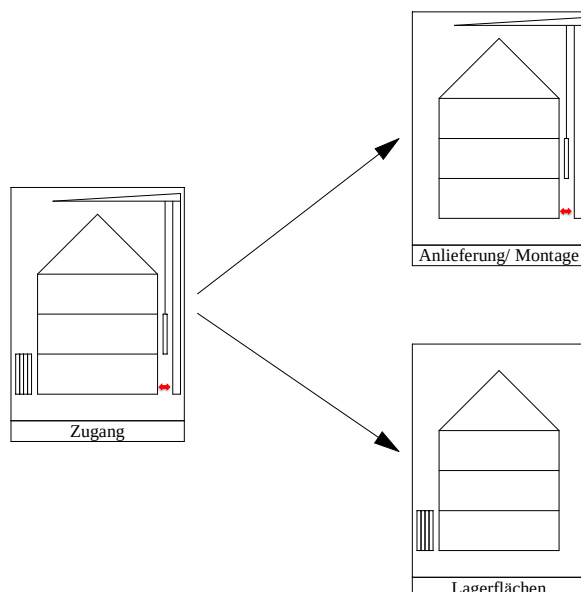


Abbildung 20: Zugänglichkeit betreffend Einsatz vorfabrizierter Fassadenmodule

Freistehende Schulgebäude¹²:

Diese grenzen an keine Bebauungsstruktur an, deshalb sind sie für die Anlieferung und Montage vorfabrizierter Bauteile in der Regel besser zugänglich als Mittel- oder Endgebäude (siehe Bsp. Desquinlee, Abbildung 34).

Schulgebäude sind meist freistehend, als Solitärgebäude, oder als Teil einer Schulanlage konzipiert (26 von 28 Fallstudien). Die Logistik und die Handhabung von Fassadenmodulen auf der Baustelle ist eine nicht zu unterschätzende Herausforderung. Freistehende Schulgebäude befinden sich meist in ländlichen- oder suburbanen Gebieten und bieten in der Regel grosse Umgebungs- und Pausenflächen, welche als Lagerflächen für Baumaterialien während der Bauphase verwendet werden können. Für die Anlieferung und Montage sind dies gute Voraussetzungen um einen reibungslosen Bauablauf zu erreichen. Einzelne Fassaden sind für die Montage gut zugänglich.

Mittel- und Endgebäude:

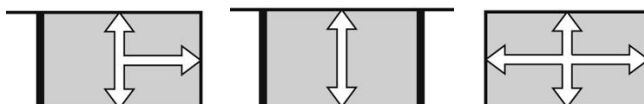
Mittelgebäude befinden sich zwischen zwei angrenzenden Gebäuden (z.B. Mittelgebäude in Blockrandbebauungen), während Endgebäude an ein angrenzendes Gebäude anschliessen (z.B. Endgebäude von Zeilenbebauungen). Eines der untersuchten Schulgebäude ist in einer Blockrandbebauung integriert und somit als Mittelgebäude definiert (1 von 28 Fallstudien). Ein weiteres Schulgebäude bildet den Abschluss einer offenen Blockrandbebauung und ist als Endgebäude definiert (1 von 28 Fallstudien). Mittel- und Endgebäude sind für die Anlieferung- und Montage vorfabrizierter Bauteile in der Regel schlechter zugänglich als freistehende Gebäude. Sie befinden sich oft in innerstädtisch verdichteten Gebieten. Der Zugang für Anlieferung und Montage vorfabrizierter Bauteile kann erheblich eingeschränkt sein und stellt grosse Anforderungen an die Logistik. So können rückwärtige Bereiche z.B. durch beengte Verhältnisse in Innenhöfen von Blockrandbebauungen nur bedingt erreicht und genutzt werden. Ausserdem sind in den innerstädtisch verdichteten Gebieten oft keine oder nur kleine Umgebungs- und Pausenflächen vorhanden, welche als Lagerflächen für Baumaterialien dienen. Erforderliche Lagerflächen müssen ggf. während der Bauphase auf anderen Grundstücken angemietet werden. Eine erhöhte Anforderung besteht auch in der Planung und Ausführung der konstruktiven Anschlüsse an die Nachbargebäude (unterschiedliche Fassadenebenen) und der innenliegenden Wärmebrücken (Trennwände zum Nachbargebäude).

Von den 28 untersuchten Fallbeispielen sind 26 Schulgebäude freistehend, 1 Schulgebäude ist jeweils als Mittel- und Endstruktur definiert. D.h., die am häufigsten vorkommende Gebäudeposition ist das freistehende Schulgebäude.

Relevante Merkmale des Fassadentyps

Mit dem Fassadentyp (Lochfassade, Skelettfassade, Bandfassade) wird die Konstruktion der Aussenwand charakterisiert, welche das wichtigste Merkmal für die Entwicklung der vorfabrizierten Fassadenmodule darstellt. Die untersuchten Schulgebäude besitzen z.T. unterschiedliche Fassadenkonstruktionen. Bei Schulgebäuden mit Skelett- oder Bandfassaden werden nur diejenigen Fassadenkonstruktionen untersucht, welche sich vor den Unterrichtsräumen befinden. Bei Schulgebäuden mit Lochfassaden werden nur diejenigen Fassadenkonstruktionen untersucht, welche sich vor Verkehrsflächen oder administrativen Bereichen

¹² Endgebäude (l) mit dreiseitigem Fassadenanschluss, Mittelgebäude (m) mit zweiseitigem Fassadenanschluss und freistehendes Gebäude (r) mit vierseitigem Fassadenanschluss



befinden. Dies weil in den Fallstudien keine Lochfassaden vor Unterrichtsräumen mit Fensterabstand > 60 cm vorhanden waren.

In Abhängigkeit von dem Zustand und der Konstruktion der bestehenden Aussenwand kann die Lastabtragung über das bestehende Mauerwerk mittels Konsolen (z.B. L-Stahlprofilen) oder den Geschossdecken erfolgen. Falls das bestehende Mauerwerk oder auch die bestehende Fundation keine zusätzliche Last aufnehmen kann, muss die Lastabtragung über ein separates Fundament erfolgen. Möglichkeiten zur Abtragung der Lasten der vorfabrizierten Fassadenmodule müssen in jedem Fall individuell abgeklärt werden. Dieser Aspekt wird im Zusammenhang der typologischen Analyse nicht vertieft untersucht.

In den folgenden Abschnitten werden die relevanten Merkmale der drei häufigsten Fassadentypen, die Lochfassade, die Skelettfassade und die Bandfassaden diskutiert.

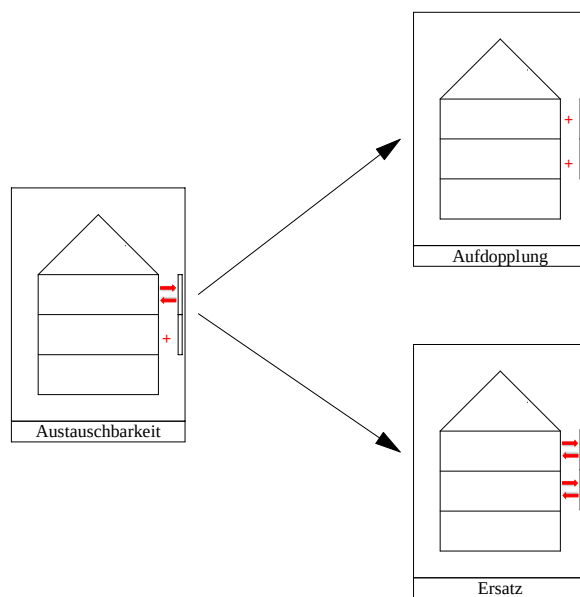


Abbildung 21: Austauschbarkeit der Fassade hinsichtlich vorfabrizierter Fassadenmodule

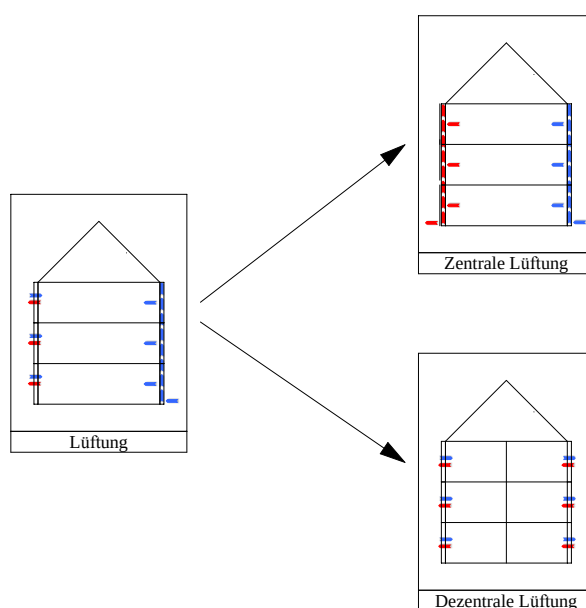


Abbildung 22: Lüftungssystem (zentral siehe 3.4, dezentral siehe 3.5) und Lüftungsverteilung hinsichtlich vorfabrizierter Fassadenmodule

Lochfassade (siehe Abbildung 23)

Die Lochfassade ist als tragende Aussenwand definiert, mit massiven, in die Tragstruktur eingebundenen Brüstungs- und Sturzbereichen. Die Fassadenöffnungen der Klassenzimmer haben einen Mindestabstand von 60 cm¹³ (dies entspricht dem Mindestabstand der vertikalen Leitungsführung einer zentralen Lüftungsverteilung und hängt von den Querschnitten der Lüftungsleitungen ab). Dieser Fassadentyp kommt bei 7 von 28 Fallstudien vor.

Austauschbarkeit der Fassade

Bei Schulgebäuden mit Lochfassaden werden die vorfabrizierten Fassadenmodule auf die bestehende Fassade als zusätzliche Schicht aufgedoppelt. Die bestehende Bausubstanz der Aussenwand bleibt bis auf die Fenster erhalten, diese werden erst kurz vor der Montage der vorfabrizierten Module entfernt. Die Abbrucharbeiten verursachen geringe Lärm- und Staubemissionen, die Einrichtungsgegenstände können in den Unterrichtsräumen verbleiben. Dadurch verursacht die Erneuerungsmassnahme geringe Einschränkungen durch Abbruch- und Anpassungsarbeiten, und ist selbst bei laufendem Schulbetrieb grundsätzlich möglich. Der Baumeisteraufwand und die Auswirkung auf den Schulbetrieb erhöhen sich deutlich, wenn bestehende Fensterstürze ersetzt werden müssen, z.B. durch Fensteröffnungsvergrösserung.

Lüftungsverteilung (siehe auch Kapitel 3.3)

Lochfassaden sind für eine zentrale Lüftungsverteilung grundsätzlich geeignet, wenn zwischen den Fenstern ausreichend Platz für die vertikale Lüftungsleitungsführung zur Verfügung steht. Da in den Fallstudien allerdings keine Lochfassaden vor Klassenzimmer vorgefunden wurden, sondern ausschliesslich vor Büro- und Erschliessungszonen, stellt sich die Frage, ob eine zentrale Lüftungsverteilung bei Lochfassaden überhaupt eine Strategie darstellt. Am Beispiel des Demonstrationsprojekts in Krummbach (Kapitel 3.9) wird eine erfolgreiche Anwendung bestätigt. Allerdings kann aufgrund der Rahmenbedingungen (verringerte Lüftungsanforderungen an Schulgebäude mit Wohnhaus) jedoch nicht von einem typischen Schulgebäude mit hohem Multiplikationspotenzial gesprochen werden. Je geringer die Geschosszahl des Schulgebäudes, desto eher ist die Strategie anwendbar.

Lastabtragung

Bei Lochfassaden erfolgt die Lastabtragung in der Regel mittels Konsolen (z.B. L-Stahlprofilen) in der bestehenden Aussenwand, oder im Spezialfall über ein neu erstelltes Fundament vor der bestehenden Aussenwand.

Skelettfassade (siehe Abbildung 23)

Die Skelettfassade kann, aber nicht immer, als tragende Aussenwand definiert werden. Deren Brüstungs- und Sturzbereiche sind massiv oder ausgefacht ausgeführt und zwischen der vertikalen Tragstruktur positioniert. Dieser Fassadentyp kommt bei 16 von 28 Fallstudien vor, und ist der am häufigsten vorkommende, sowohl auf nationaler Ebene als auch international.

Austauschbarkeit der Fassade

Bei Schulgebäuden mit Skelettfassaden und dezentraler Lüftung wird die bestehende Bausubstanz (Ausfachung zwischen Skelettkonstruktion) durch neue, vorfabrizierte Fassadenelemente ersetzt. Bei der bestehenden Aussenwand bleibt dann nur die vertikale, tragende Fassadenskelettstruktur erhalten. Brüstung, Fenster und Sturz werden entfernt, wenn horizontale und Torsionskräfte anderweitig aufgenommen werden können. Die Abbrucharbeiten verursachen Lärm- und Staubemissionen, so dass die Einrichtungsgegenstände der Unterrichtsräume geschützt werden müssen. Dadurch verursacht die Erneuerungsmassnahme erhebliche Einschränkungen durch Abbruch- und Anpassungsarbeiten und ist bei laufendem Schulbetrieb nur bedingt möglich. Dazu muss der Ausbruch und das Einsetzen der neuen

¹³ Getroffene Projektdefinition zum Abstand der Fassadenöffnungen: >60cm wird als Lochfassade kategorisiert, <60cm wird als Skelett- oder Bandfassade kategorisiert

Fassadenelemente direkt aneinander erfolgen. Die zwischen den Modulen liegenden Stützen in der Fassadenebene sind wärmebrückenarm zu dämmen.

Bei Schulgebäuden mit statisch tragenden Skelettfassaden werden die vorfabrizierten Fassadenmodule auf die bestehende Fassade als zusätzliche Schicht aufgedoppelt. Die bestehende Aussenwand wird zur Innenwand einer mehrschaligen Aussenwandkonstruktion.

Lüftungsverteilung (siehe auch Kapitel 3.3)

Betreffend einer zentralen Lüftungsverteilung sind statisch tragende Skelettfassaden ein Hindernis, da geringe Steigzonen (in der Regel Fensterabstand < 60 cm) zwischen den Fenstern zur Verfügung stehen. Kann bei einer statisch nicht tragenden Skelettfassade eine Änderung des Erscheinungsbildes in Kauf genommen werden, können ausreichend vertikale Steigzonen geschaffen werden.

Lastabtragung

Skelettfassaden eignen sich für eine Lastabtragung entweder über die bestehenden Geschossdecken (vorfabrizierte Module auf Geschossdecke gestellt) oder über die vertikale, tragende Fassadenstruktur z.B. mit punktuellen Verankerungen, wenn die Ausfachung statisch genügend gesichert ist. Bei Dübeln ist nicht nur die Zuglast zwischen Dübeln und z.B. Backstein sondern auch das Auszugsverhalten des einzelnen Steines im Mauerverband zu berücksichtigen.

Bandfassade (siehe Abbildung 23)

Die Bandfassade ist in der Regel als nicht tragende Aussenwand definiert, deren Brüstungs- und Sturzbereiche massiv oder leicht ausgeführt, vor der Tragstruktur positioniert sind. Dieser Fassadentyp wurde bei 5 von 28 Fallstudien vorgefunden.

Austauschbarkeit der Fassade

Bei Schulgebäuden mit Bandfassaden werden die vorfabrizierten Fassadenmodule in der Regel gegen Anteile der bestehenden Fassade ausgetauscht (z.B. vorgehängte Betonelemente). Bei der bestehenden Aussenwand bleibt nur die horizontale Fassadenstruktur erhalten, die vorgehängte Brüstung, das Fenster und ein vorgehängter Sturz werden entfernt. Die Abbrucharbeiten verursachen Lärm- und Staubemissionen, so dass die Einrichtungsgegenstände der Unterrichtsräume geschützt werden müssen. Dadurch verursacht die Erneuerungsmassnahme erhebliche Einschränkungen durch Abbruch- und Anpassungsarbeiten, und ist bei laufendem Schulbetrieb nur bedingt möglich.

Lüftungsverteilung (siehe auch Kapitel 3.3)

Betreffend einer zentralen Lüftungsverteilung sind Bandfassaden bedingt geeignet, da zwischen den Fenstern normalerweise nicht genügend Platz zur Verfügung steht (in der Regel Fensterabstand < 60 cm). Allerdings können vertikale Steigzonen z.B. zwischen Gebäudeaussenkante und Fensterband oder auf der Giebelseite genutzt werden, um eine Zu- und Abluftversorgung zu erreichen. Zusätzlich zur vertikalen Lüftungsverteilung muss eine horizontale Lüftungsverteilung gewährleistet sein z.B. im Brüstungsband (Höhe min. 60 cm).

Lastabtragung

Die Lastabtragung von Bandfassaden erfolgt z.B. mit punktuellen Verankerungen in der Geschossdecke (z.B. Stirnseite), oder der vertikalen Primärstruktur.

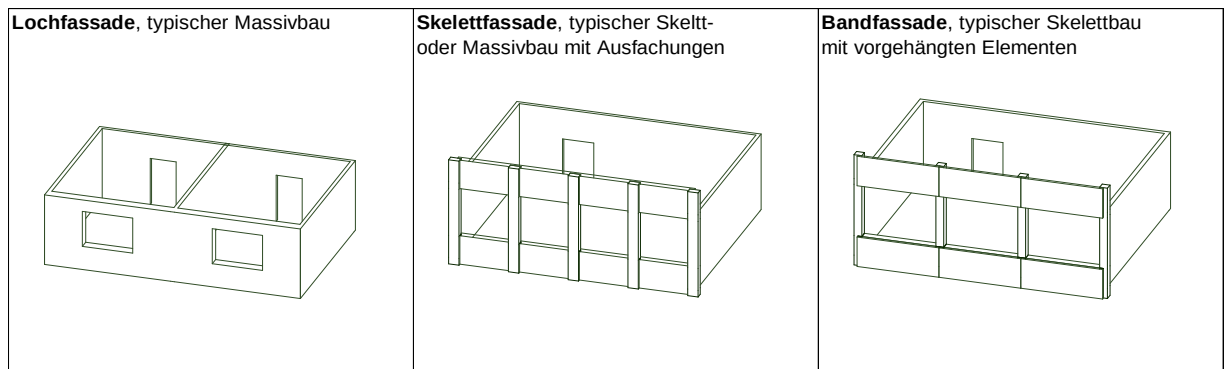


Abbildung 23: Typische Fassaden von Schulgebäuden (Lochfassade, Skelettfassade und Bandfassade)

Von den 28 untersuchten Fallbeispielen sind 16 Schulgebäude mit Skelettfassaden, 7 Schulgebäude mit Lochfassaden und 5 Schulgebäude mit Bandfassade vertreten. Der am häufigsten vorkommende Fassadentyp ist die Skelettfassade. Konstruktiv bedingt weist dieser die grössten Wärmebrücken auf (im alten Zustand) und besitzt damit grosses, energetisches Einsparpotenzial betreffend Transmissionswärmeverlust.

Relevante Merkmale der Geschossanzahl

Neben dem Fassadentyp gibt die Geschossanzahl (nur oberirdische) einen Anhaltspunkt zur Möglichkeit für die Abtragung der Lasten der neuen, vorfabrizierten Gebäudehülle (siehe auch [31] Seite 98 ff.).

Von den 28 untersuchten Fallbeispielen sind 17 von 28 Schulgebäuden 2 bis 3 geschossig, 6 Schulgebäude über 3 geschossig und 5 Schulgebäude 1 geschossig. Die am häufigsten vorkommende Geschossanzahl beträgt 2-3 Geschosse. Dies begünstigt im Allgemeinen die Lüftungsverteilung, da weniger Räume über eine vertikale Steigzone erschlossen werden müssen als bei hohen Gebäuden. Mit zunehmender Geschossanzahl wird die Lüftungsverteilung zentraler Lüftungsanlagen zur Herausforderung da sich die Gesamtleitungsquerschnitte mit jedem zusätzlich zu versorgenden Geschoss vergrössern. Die vertikalen Steigzonen (z.B. zwischen Fenstern) bieten dafür nur eine begrenzte Kapazität.

Mit zunehmender Geschosszahl wird die Last der neuen Fassadenmodule die bestehenden Fundamente belasten. In Abhängigkeit von der bestehenden Bausubstanz werden die Lasten der vorfabrizierten Module über die bestehende Aussenwand oder über ein separates Fundament abgetragen. Die Geschossanzahl ist ausserdem massgebend für die Möglichkeit der Lüftungsverteilung über die vorfabrizierten Module. Mit zunehmender Geschossanzahl wird die Lüftungsverteilung von zentralen Lüftungsanlagen zur grösseren Herausforderung, da sich die notwendigen Gesamtleitungsquerschnitte mit jedem zusätzlich zu versorgenden Geschoss vergrössern. Die vertikalen Steigzonen (z.B. zwischen Fenstern) bieten dafür nur eine begrenzte Kapazität (siehe Beispiel Desquinlee, Abbildung 37).

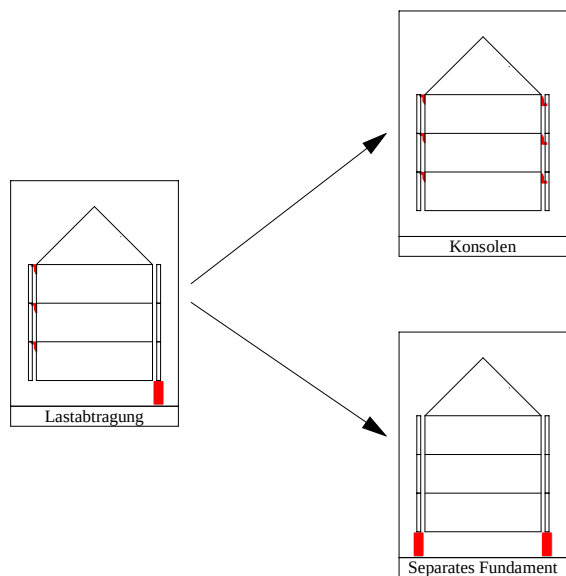


Abbildung 24: Lastabtragung betreffend und Einsatz vorfabrizierter Fassadenmodule

Gebäude mit geringer Höhe (1 Geschoss):

Bei Gebäuden mit geringer Höhe kann die zusätzliche Last in der Regel über die bestehende Aussenwand oder die Geschossdecken abgetragen werden. Rund 20% der untersuchten Schulgebäude waren 1-geschossig (5 von 28 Fallstudien). Grundsätzlich ist dies ein Vorteil, da handhabbare Vertikallasten auftreten und keine separaten Fundationen erforderlich sind.

Gebäude mittlerer Höhe (2-3 Geschosse):

Bei Gebäuden mittlerer Höhe kann die zusätzliche Last in der Regel über die bestehende Aussenwand oder die Geschossdecken abgetragen werden. Rund 60% der untersuchten Schulgebäude waren 2-3-geschossig (17 von 28 Fallstudien). Auch hier treten nur handhabbare Vertikallasten auf und es ist in der Regel keine separate Fundation erforderlich.

Gebäude mit grosser Höhe (über 3 Geschosse):

Bei Gebäuden mit grösserer Höhe (über 3 Geschosse) kann der Fall eintreten, dass die Last über ein separates Fundament in den Untergrund geleitet werden muss (siehe Abbildung 24, rechts unten). Kann die Last geschossweise abgetragen werden, ist die Belastung des bestehenden Fundamentes zu beachten. Rund 20% der untersuchten Schulgebäude waren über 3 geschossig (6 von 28 Fallstudien). Zusätzliche Fundamente sind aus Sicht der Kosten und Ausführung am Bau belastend.

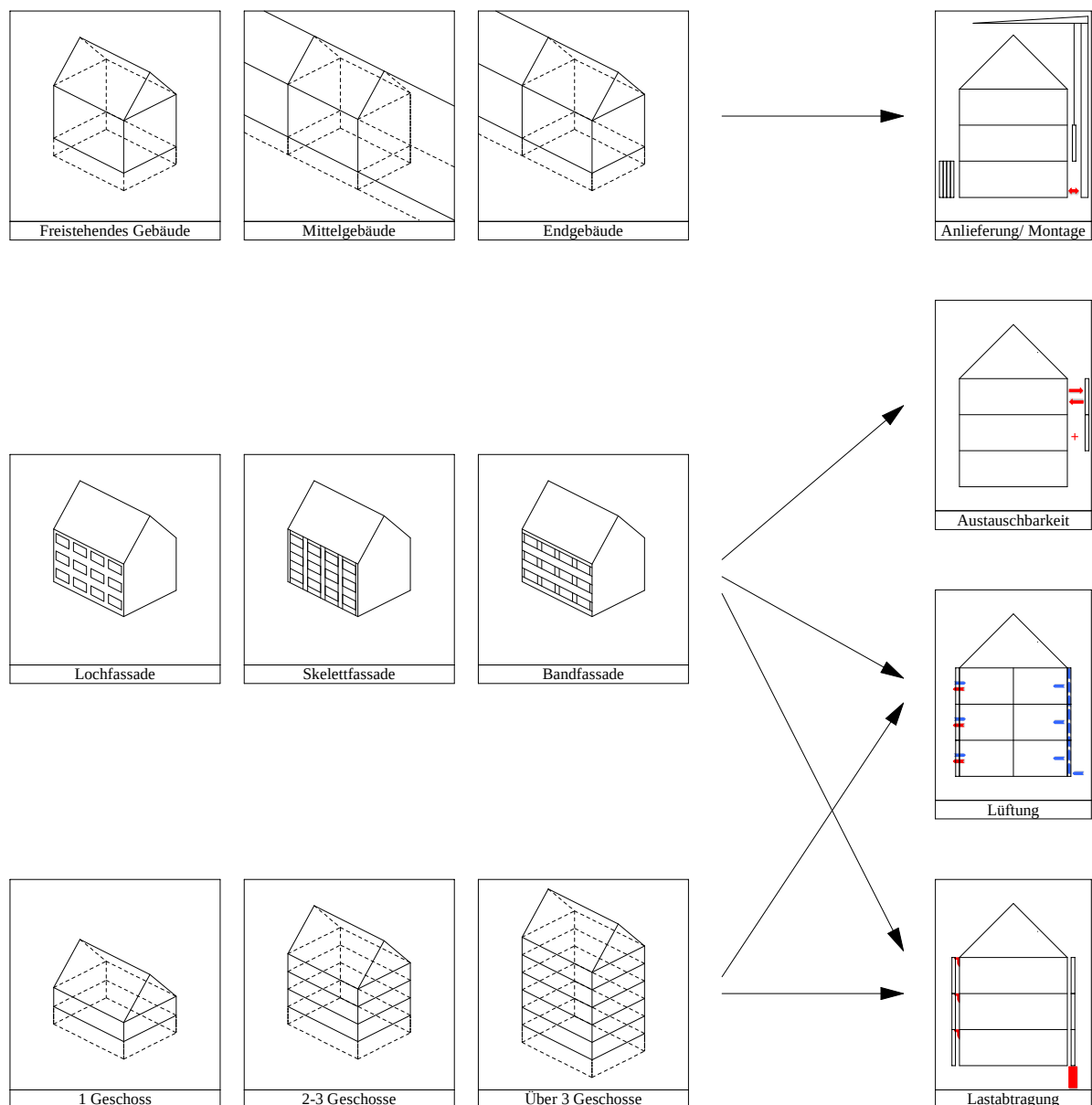
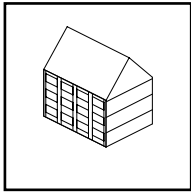


Abbildung 25: Leitmerkmale des Gebäudebestands in Bezug zu den Massnahmen der vorfabrizierten Erneuerung

Abbildung 25 zeigt die Verknüpfung des Gebäudebestands mit den Massnahmen der vorfabrizierten Erneuerung. So haben die Leitmerkmale (Gebäudeposition, Fassadentyp und Geschossanzahl) des Gebäudebestands z.B. Einfluss auf die Anlieferung- und Montage, die Austauschbarkeit der bestehenden Bausubstanz, die Wahl des Lüftungssystems bzw. deren Verteilung und die Lastabtragung.

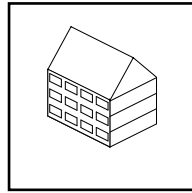
Die Auswertung der Leitmerkmale (Gebäudeposition, Geschossanzahl und Fassadentyp) kann wie folgt zusammengefasst werden:

- 26 von 28 Fallbeispielen sind freistehende Schulgebäude. 1 Schulgebäude ist als Mittelgebäude und ein weiteres als Endgebäude definiert
- 16 von 28 Fallstudien haben eine Skelettfassade, weitere 7 eine Lochfassade und 5 eine Bandfassade.
- 17 von 28 Fallbeispielen sind 2-3 geschossige Schulgebäude, 5 Schulgebäude sind 1-geschossig und 6 Schulgebäude sind mehr als 3-geschossig



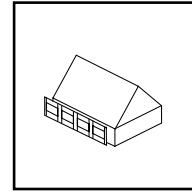
GT 01 (9/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ 2-3 Geschosse
- _ Skelettfassade



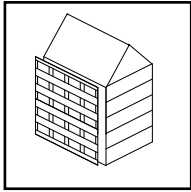
GT 02 (5/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ 2-3 Geschosse
- _ Lochfassade



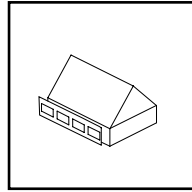
GT 03 (3/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ 1 Geschoss
- _ Skelettfassade



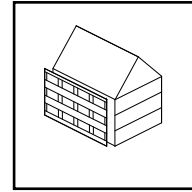
GT 04 (3/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ mehr als 3 Geschosse
- _ Bandfassade



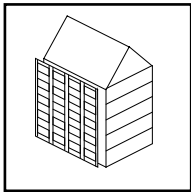
GT 05 (2/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ 1 Geschoss
- _ Lochfassade



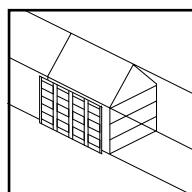
GT 06 (2/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ 2-3 Geschosse
- _ Bandfassade



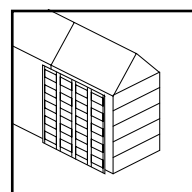
GT 07 (2/28)

- _ Freistehendes Gebäude
- _ mehr als 3 Geschosse
- _ Skelettfassade



GT 08 (1/28)

- _ Mittelgebäude
- _ 2-3 Geschosse
- _ Skelettfassade



GT 09 (1/28)

- _ Endgebäude
- _ mehr als 3 Geschosse
- _ Skelettfassade

Abbildung 26: Auswertung der Leitmerkmale und Ableitung der Gesamttypen (GT), der Menge nach geordnet

Die Auswertung der Gesamttypen GT01-GT09 kann wie folgt zusammengefasst werden: Die 28 untersuchten Fallstudien lassen sich durch neun Gesamttypen (GT) beschreiben. Der am häufigsten vorkommende Gesamtyp (GT 01) beschreibt ein freistehendes Schulgebäude mit einer Skelettfassade und zwei bis drei Geschossen. Dieser Gesamtyp ist bei neun von 28 Fallstudien anzutreffen. Der am zweithäufigsten vorkommende Gesamtyp GT02 ist ebenfalls freistehend und ist durch eine Lochfassade mit zwei bis drei Geschossen gekennzeichnet (fünf von 28 Fallstudien). Typische Schulgebäude dieses Gebäudetyps stammen häufig aus der Bauperiode der 50er bis 70er Jahre und sind in der Regel in Massivbauweise erstellt. Danach folgen zwei Gesamttypen, welche beide bei drei von 28 Fallstudien vorkommen. Der Gesamtyp GT03 ist ein freistehendes Gebäude mit einer Skelettfassade und einem Geschoss. Typische Schulgebäude, die diesen Gesamtyp repräsentieren, stammen häufig aus der Bauperiode der 50er bis 70er Jahre und sind in der Regel in Massivbauweise erstellt. Der Gesamtyp GT04 ist als freistehendes Gebäude mit einer Skelettfassade und hat mehr als drei Geschosse. Typische Schulgebäude, die diesen Gesamtyp repräsentieren, stammen häufig aus der Bauperiode nach 1970 und sind in der Regel in Skelettbauweise erstellt.

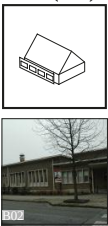
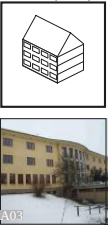
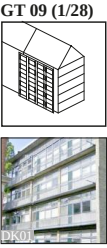
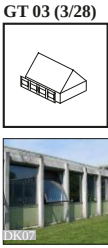
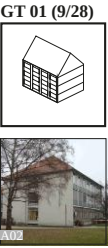
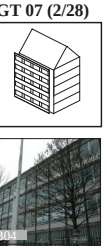
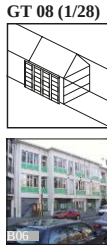
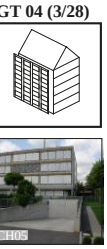
		Gebäudeposition								
		Endgebäude			Freistehendes Gebäude			Mittelgebäude		
		Geschosse			Geschosse			Geschosse		
		1	2-3	3+	1	2-3	3+	1	2-3	3+
Fassadentyp	Lochfassade				GT 05 (2/28) 	GT 02 (5/28) 				
	Skelettfassade			GT 09 (1/28) 	GT 03 (3/28) 	GT 01 (9/28) 	GT 07 (2/28) 		GT 08 (1/28) 	
	Bandfassade					GT 06 (2/28) 	GT 04 (3/28) 			

Abbildung 27: Kategorisierung der Gesamttypen mit Referenzgebäuden

Die Kategorisierung der Gesamttypen mit Referenzgebäuden¹⁴ zeigt die Verteilung der Gesamttypen anhand der Leitmerkmale (Abbildung 27).

Fokustypen

Durch die Kombination der Varianten¹⁵ von Fokusmerkmalen lassen sich Fokustypen (FT) ableiten, welche spezifische Kategorien von Gebäudeteilen beschreiben. Fokusmerkmale sind Merkmale, welche die relevanten Gebäudeteile, im Sinne der Zielstellung beschreiben. Diese beinhalten im Projekt SchoolVentCool die Charakterisierung der Brüstungs- und Sturzsituation und der Fensterabstände von Klassenzimmern. Fokustypen werden hier verwendet, um spezifische Kategorien von Gebäudeteilen zu visualisieren und Leitlinien für die Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule mit integrierter Lüftung zu formulieren, insbesondere für die Auswahl des Lüftungssystems und dessen Verteilung. Mit der Brüstungs- und Sturzhöhe wird der zur Verfügung stehende Platz für die Lüftungsverteilung in horizontaler Richtung (im Fassadenschnitt) erfasst. Die Konstruktion von Brüstung und Sturz bestimmt dabei die Möglichkeit der Durchdringungen für die Zu- und Abluft. In vertikaler Richtung wird die Lüftungsverteilung durch die Abstände zwischen den Fassadenöffnungen (Fassadenansicht) bzw. die Lage zu Gebäudeaussenkanten bestimmt. Für den Einsatz von Einzelraum-

¹⁴ Referenzgebäude repräsentieren im Projekt SchoolVentCool einen Gesamttyp anhand eines typischen Schulgebäudes der Fallstudien

¹⁵ Theoretisch können 27 Gesamttypen durch drei Leitmerkmale, mit 9 Varianten, kombiniert werden (Abbildung 19)

lüftungsgeräten ist neben der Brüstungs- und Sturzhöhe die Fassadenlänge im Verhältnis zur Raumtiefe der Klassenzimmer relevant. Die folgenden Richtwerte geben Anhaltspunkte zu den erforderlichen Fensterabständen, sowie Brüstungs- und Sturzhöhen für eine zentrale- oder dezentrale Lüftungsverteilung von typischen Klassenzimmern. Diese Richtwerte hängen von den Massen des bestehenden Gebäudes ab und müssen teilweise bei jedem Projekt neu ermittelt werden.

Fensterabstand z.B. $<$ oder $>$ 60 cm:

Abbildung 28 verdeutlicht das Fokusmerkmal Fensterabstand. Fensterabstände $<$ 60 cm erlauben aufgrund des Leitungsquerschnitts (Dimensionsangaben durch Lüftungsplaner) in der Regel keine zentrale, vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fenstern bei mehr als zwei Geschossen. Ab ca. 60 cm ist, in Abhängigkeit der Anzahl der Geschosse und der zu versorgenden Unterrichtsräume, eine zentrale, vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fenstern möglich. Genau Grenzmasse sind objektspezifisch und gemäss Ablauf Kapitel 3.8 oder auch z.B. Kapitel 3.4 zu ermitteln.



Abbildung 28: Relevante Fensterabstände mit Schwellenwerten hinsichtlich der Lüftungsverteilung

Sturzhöhe z.B. $<$ oder $>$ 15 cm und Brüstungshöhe z.B. $<$ oder $>$ 60 cm:

Sturz- bzw. Brüstungshöhen ab ca. 15 cm ermöglichen den Einsatz von dezentralen Lüftungsverteilungen (z.B. Einzelraumlüftungsgerät von SIGENIA, siehe Abbildung 58). So sind für ein einzelnes Gerät Sturz- bzw. Brüstungshöhen von min. 15 cm erforderlich, für zwei übereinanderliegende Geräte sind entsprechend min. 30 cm einzuplanen. Ab ca. 60 cm ist wiederum z.B. eine zentrale, horizontale Lüftungsverteilung im Sturz- bzw. Brüstungsbereich möglich (siehe Abbildung 29).

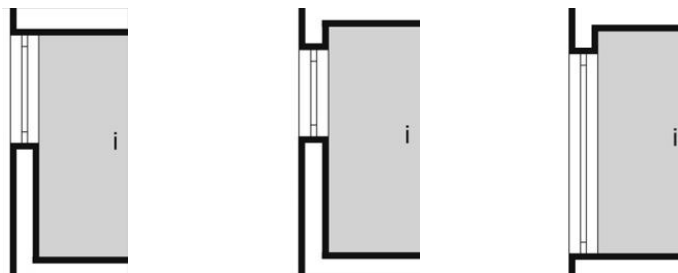


Abbildung 29: Relevante Brüstungs- und Sturztymen mit Schwellenwerten gemäss Abbildung 30 hinsichtlich der Lüftungsverteilung (links: nur Brüstung ohne Sturz, mittig: Brüstung und Sturz, rechts: nur Sturz ohne Brüstung)

Folgende Übersicht gibt Anhaltspunkte zur Lüftungsplanung:

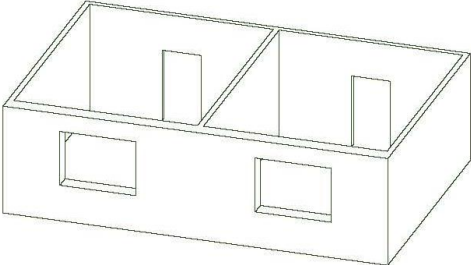
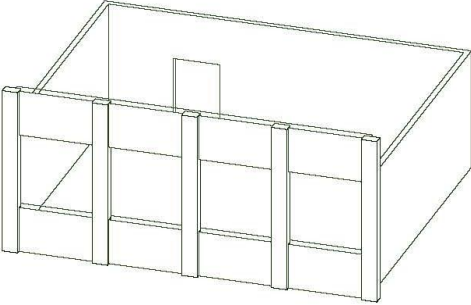
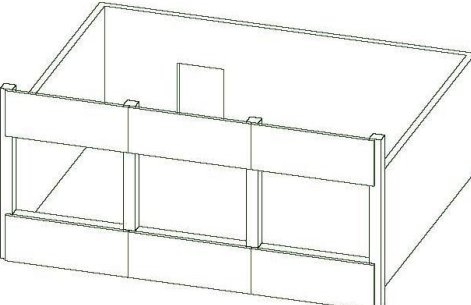
Lochfassade - typ. Klassenzimmer nicht vorhanden (typische Internatszimmer am Beispiel A03)			FT L1 Lochfassade (Fensterabstand > 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe -
Skelettfassade (typisches Klassenzimmer am Beispiel CH08)			FT L2 Lochfassade (Fensterabstand > 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe > 60 cm
Bandfassade (typisches Klassenzimmer am Beispiel CH07)			FT L3 Lochfassade (Fensterabstand > 60 cm) Sturzhöhe - Brüstungshöhe > 60 cm
			FT S1 Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe -
			FT S2 Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe > 60 cm
			FT S3 Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe - Brüstungshöhe > 60 cm
			FT B1 Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe -
			FT B2 Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe > 15 cm Brüstungshöhe > 60 cm
			FT B3 Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm) Sturzhöhe - Brüstungshöhe > 60 cm

Abbildung 30: Fassadentypen aus den Fallstudien und abgeleitete Fokustypen mit Schwellenwerten zum Fensterabstand, Sturzhöhe und Brüstungshöhe, für die z.B. die Abschätzung der Realisierung von Lüftungsleitungen

Lochfassade und daraus abgeleitete Fokustypen (FT L1-L3)

<i>Merkmale Fokustyp (FT L1)</i>	Lochfassade:	Fensterabstand > 60 cm
	Sturzhöhe:	> 15 cm
	Brüstungshöhe:	-

Eine zentrale, vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen ist grundsätzlich möglich. Da die Sturz- und Brüstungshöhen keine horizontale Lüftungsverteilung ermöglichen, wird jedes einzelne Klassenzimmer über eine separate, vertikale Steigzone für Zu- und Abluft versorgt. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere übereinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden (je nach Anzahl Geschosse gemäss Prinzip wie Abbildung 37.)

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist nur bei FT L1 im Brüstungsbereich und FT L3 im Sturzbereich sinnvoll. Ansonsten müsste durch die bestehende Wandkonstruktion eine grosse, horizontale Schlitzung für die Luftdurchführung gemacht werden und dies wäre statisch problematisch.

<i>Merkmale Fokustyp (FT L2)</i>	Lochfassade:	Fensterabstand > 60 cm
	Sturzhöhe:	> 15 cm
	Brüstungshöhe:	> 60 cm

Eine zentrale, vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen wie auch eine horizontale Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich ist grundsätzlich möglich. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können über die vertikale und die horizontale Verteilung ggf. mehrere über- oder nebeneinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden. Für die dezentrale Lüftung im Sturzbereich gilt gleiches wie bei FT L1 erwähnt. Für eine horizontale Lüftungsleitungsführung im Bereich des Sturzes muss diese deutlich grösser 15 cm sein, z.B. 40 cm.

<i>Merkmale Fokustyp (FT L3)</i>	Lochfassade:	Fensterabstand > 60 cm
	Sturzhöhe:	-
	Brüstungshöhe:	> 60 cm

Eine zentrale, vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen wie auch eine horizontale Lüftungsverteilung im Brüstungsbereich ist grundsätzlich möglich. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere über- oder nebeneinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Für die dezentrale Lüftung gilt das bei FT L1 erwähnte.

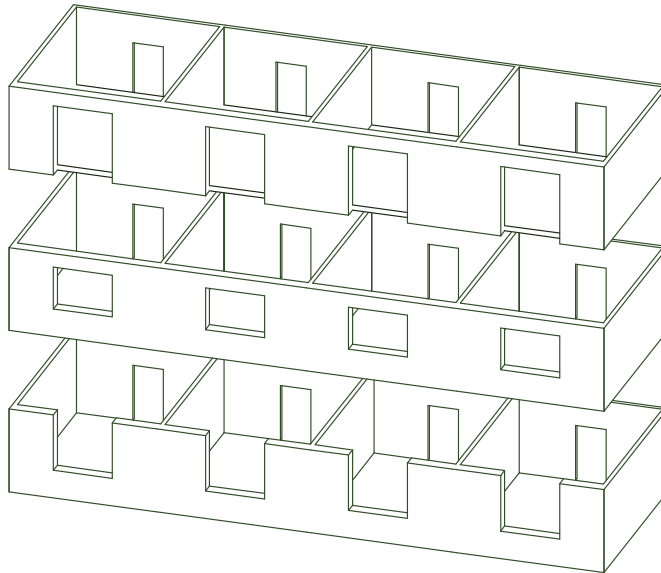


Abbildung 31: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Lochfassaden (oben: FT L1, mittig: FT L2, unten: FT L3)

Skelettfassade und daraus abgeleitete Fokustypen (FT S1-S3)

Merkmale Fokustyp (FT S1)

Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm)
 Sturzhöhe > 15 cm
 Brüstungshöhe -

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nicht möglich. Falls eine Änderung des Erscheinungsbilds in Kauf genommen wird, können die vorgefertigten Fassadenmodule vor der vertikalen Tragstruktur befestigt werden. Dies bedingt einen Fensterabstand von min. 60 cm. Es muss bei dieser Lösung in der Regel eine reduzierte Fensterbreite in Kauf genommen werden. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere übereinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Sturzbereich möglich (falls dieser nicht tragend ausgebildet ist). Die Sturzhöhen erlauben eventuell den Einbau von mehreren, übereinander angeordneten Einzelraumlüftungsanlagen (Beispiele siehe Abbildung 61).

Merkmale Fokustyp (FT S2)

Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm)
 Sturzhöhe > 15 cm
 Brüstungshöhe > 60 cm

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nur möglich, wenn die vertikale Hauptleitungen im opaken Bereich neben dem gesamten Fensterband möglich ist und dann horizontal verteilt wird.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Sturz- und Brüstungsbereich möglich (falls diese nicht tragend ausgebildet sind). Die Sturz- und Brüstungshöhen erlauben den Einbau von Einzelraumlüftungsanlagen, je nach Höhen auch mehrfach übereinander.

Merkmale Fokustyp (FT S3)

Skelettfassade (Fensterabstand < 60 cm)
 Sturzhöhe -
 Brüstungshöhe > 60 cm

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nicht möglich. Falls eine Änderung des Erscheinungsbilds in Kauf genommen werden kann, werden die vorfabrizierten Fassadenmodule vor der vertikalen Tragstruktur befestigt. Dies bedingt einen Fensterabstand von min. 60 cm. Es muss bei dieser Lösung in der Regel eine reduzierte Fensterbreite in Kauf genommen werden. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere über- oder nebeneinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Brüstungsbereich möglich (falls dieser nicht tragend ausgebildet ist). Die Brüstungshöhen erlauben den Einbau von Einzelraumlüftungsanlagen (je nach Brüstungshöhe mehrere übereinander).

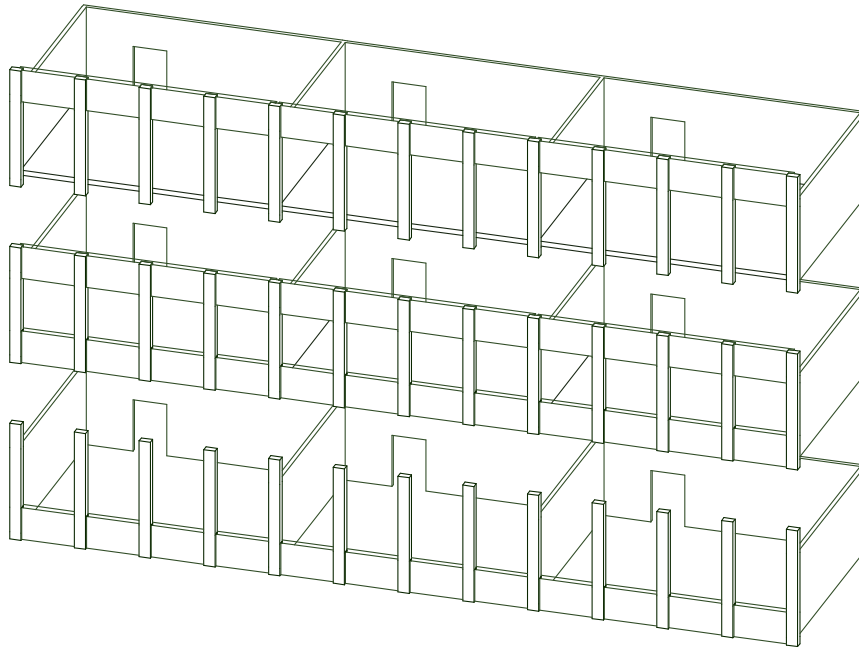


Abbildung 32: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Skelettfassaden (oben: FT S1, mittig: FT S2, unten: FT S3)

Bandfassade und daraus abgeleitete Fokustypen B1-B3

Merkmale Fokustyp (FT B1)

Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm)
Sturzhöhe > 15 cm
Brüstungshöhe -

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nicht möglich. Falls durch die Verkleinerung der Fensterbreite ein Fensterabstand von min. 60 cm erreicht werden kann, ist eine vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fenstern möglich. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere übereinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Sturzbereich möglich (falls diese nicht tragend ausgebildet sind). Je nach Sturzhöhe ist der mehrfache Einbau von Einzelraumlüftungsanlagen übereinander möglich.

Merkmale Fokustyp (FT B2)

Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm)
Sturzhöhe > 15 cm
Brüstungshöhe > 60 cm

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüf-

tungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nicht möglich. Falls durch die Verkleinerung der Fensterbreite ein Fensterabstand von min. 60 cm erreicht werden kann, ist eine vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fenstern und eine horizontale Lüftungsverteilung im Brüstungsbereich möglich. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere über- oder nebeneinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Sturz- und Brüstungsbereich möglich (falls diese nicht tragend ausgebildet sind). Die Sturz- und Brüstungshöhen erlauben eventuell den mehrfachen Einbau von Einzelraumlüftungsanlagen übereinander.

Merkmale Fokustyp (FT B3)

Bandfassade (Fensterabstand < 60 cm)
Sturzhöhe -
Brüstungshöhe > 60 cm

Eine zentrale Lüftungsverteilung zwischen den Fensteröffnungen, mit einer horizontalen Lüftungsverteilung im Brüstungs- und Sturzbereich, ist in der Regel nicht möglich. Falls durch die Verkleinerung der Fensterbreite ein Fensterabstand von min. 60 cm erreicht werden kann ist eine vertikale Lüftungsverteilung zwischen den Fenstern und eine horizontale Lüftungsverteilung im Brüstungsbereich möglich. In Abhängigkeit von dem Leitungsquerschnitt können ggf. mehrere übereinanderliegende Unterrichtsräume versorgt werden.

Eine dezentrale Lüftungsverteilung ist im Brüstungsbereich möglich (falls diese nicht tragend ausgebildet sind). Die Brüstungshöhen erlauben den Einbau von Einzelraumlüftungsanlagen (übereinander im Brüstungsbereich).

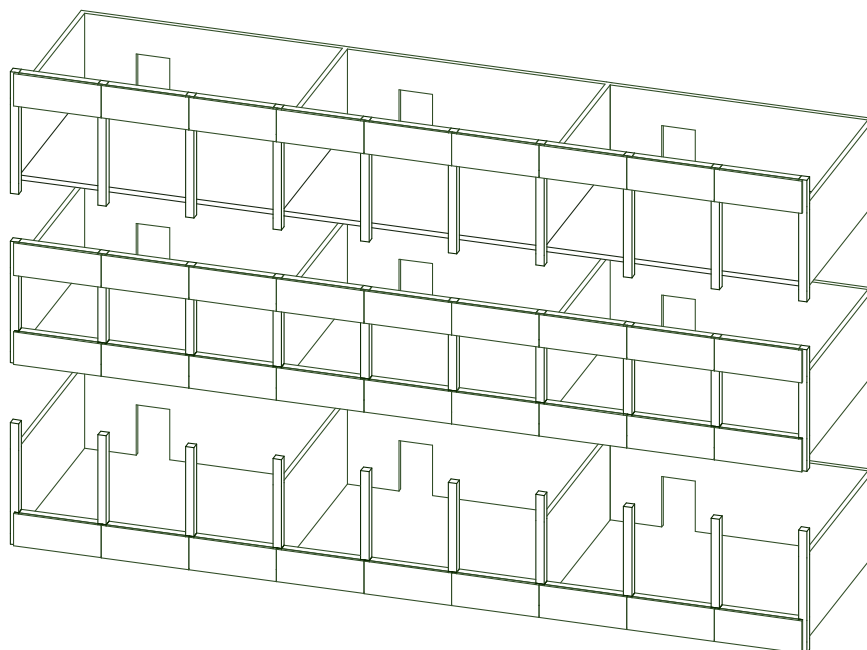


Abbildung 33: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Bandfassaden (oben: FT B1, mittig: FT B2, unten: FT B3)

3.3. Die Wahl des Lüftungssystems: Der kritische Weg

Ausgangslage

Es werden hier nur Lüftungssysteme betrachtet, für die die notwendigen Verteilkanäle innerhalb von Fassadenelementen zu liegen kommen. Die Ausgangslage für eine vorfabrizierte Fassadenmodulkonstruktion mit integrierten Lüftungsleitungen für zu erneuernde Schulgebäude basiert auf den im Bericht CCEM-Nachhaltige Wohnbauerneuerung [4] beschriebenen Lösungsansätzen für den Mehrfamilienhausbau. Bereits dort wurde erkannt, dass die eingebauten Lüftungsleitungen in der Planung als auch bei der Ausführung eine zentrale Rolle spielen. Dieser kann sogar als kritischer Weg im Gesamtsystem bezeichnet werden.

Schulbauten unterscheiden sich beim erforderlichen Frischluftbedarf gegenüber Mehrfamilienhäusern erheblich. Dies hauptsächlich bedingt durch die hohe Belegungsdichte in Klassenzimmern. Die erforderliche Frischluftmenge beträgt in Schulräumen zwischen 25 und 30 m³/h/Person (siehe Kapitel 2.2.3), wobei in den Räumen auch von einer Mischluftsituation ausgegangen werden muss. Bei typischen mittleren Klassengrößen von 17 – 21 Schülern [36] plus ein bis zwei Lehrpersonen ergibt sich daraus ein Frischluftbedarf für einen Klassenraum von rund 525 – 840 m³/h. Bei einem Klassenraum von 10 m Fassadenlänge und 7 m Raumtiefe [6] bedeutet das einen spezifischen Frischluftbedarf von 7.5 - 12 m³/h/m² Grundfläche oder 53 - 84 m³/h/m Fassadenlänge.

Mit dem übernommenen Ansatz, die Lüftungsleitungen fassadenintegriert zu führen, ergeben sich für Schulgebäude aufgrund der grösseren, notwendigen Rohrdurchmesser (im Bereich 0.20 - 0.30 m (anstatt 0.08 – 0.10 m wie bei MFH) Auswirkungen auf die Architektur des Gebäudes. Am folgenden, von der Stadt Antwerpen zur Verfügung gestellten Beispiel konnte dies deutlich aufgezeigt werden.

Bei der Entwicklung von vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftung sind noch weitere Punkte für Planung und Konstruktion zu berücksichtigen. Tabelle 8 kann als Checkliste für das Vorgehen angewandt werden. Sie ist auf die zwei Gebiete Planungs- und Konstruktionsphase aufgeteilt:

Planung	- Weitest gehende Gestaltungsfreiheit vorsehen bei Form, Grösse und Fassaden-Materialisierung, "es soll nicht wie vorfabriziert aussehen". - Verwendung verfügbarer Baumaterialien und Konstruktionssysteme, auch im Sinne der Verarbeitungsmöglichkeiten der Unternehmer vor Ort. - Planungs- (und Konstruktions-) Prinzip für die ganze Gebäudehülle, also auch Basis für ev. vorfabrizierte Dachelemente, mit hohem Multiplikatoreffekt für Planung und Vorfabrikation. - Unterstützung Planerkoordination betreffend Lüftungs- und elektrischer Leitungsführung. - Umgang mit Leitungsführungen in neuen Elementen betreffend Brandschutz. - Einfache und sichere Verbindung der Lüftungsleitungen zwischen Elementen im Werk als auch am Bau. - Platzierungsmöglichkeiten für ev. Kabel und Sensoren bei Fenstern. - Planung von elektrisch betriebenen Storen mit Möglichkeit von Automatisierung. - Berücksichtigung der Modulgrösse wegen Logistik auf Strassen der verschiedenen Länder. - Befestigungsoptionen der neuen Module am bestehenden Gebäude und Auswirkungen auf Konstruktionen im Modul (Aussteifung).
---------	--

Konstruktion	- Durchdringungen und Führungen von Lüftungsleitungen und eventuell Elektrik von aussen in die Innenräume. - Optimierungsmöglichkeiten betreffend gute Wärmedämmwerte und wärmebrückenarme Konstruktion, auch von opaken Fassadenteilen. - Luftdichtigkeit zwischen Element und bestehendem Mauerwerk, vor allem im Bereich der Fenster. - Verwendung von hochqualitativen Fenstern: Fenster mit niedrigen U_w Werten (z.B. $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und hohen g-Werten (0.6). Ebenso gleichzeitig Sonnenschutz mit aussen liegender Storenkonstruktion im Element und elektrische Ansteuerung einbeziehen. - Montage an bestehenden Aussenmauern: Berücksichtigen, dass die drei Fassadenfokustypen Loch-, Skelett-, Bandfassade mit unterschiedlichen Befestigungen ausgeführt werden müssen. - einfache Geometrien der verwendeten Bauteile anstreben. - möglichst klare Schichten bilden (Schichten der Gebäudehülle ums Gebäude, Schicht für Lüftungsleitungen, Wärmedämmschichten, Ausgleichschichten, Feuchteschutz). - Multiplikatoreneffekt: das Prinzip der Details soll möglichst viel anwendbar sein. - Ausgleichmöglichkeit gegenüber Unebenheit des bestehenden Mauerwerks. - Reaktionsmöglichkeit auf klimatische Verhältnisse, bezüglich Wärmeverluste bei Lüftungsleitungen zur Aussentemperatur. - Eigensteifigkeit für Transport und Montage unter Einbezug der Aufhängevorrichtung für Montage am Bau. - Reaktionsmöglichkeit auf Feuchtigkeit von innen und Gebäudehülldichtigkeit.
--------------	--

Tabelle 8: Anhaltspunkte für Planung und Konstruktion

Projekt Desquinlee, Stadt Antwerpen

Antwerpen erwartet in den kommenden Jahrzehnten einen Anstieg der Anzahl Schüler. Die Stadt ist aufgrund des begrenzt zur Verfügung stehenden Baulandes auf die Erneuerung der bereits bestehenden Schulgebäude angewiesen, um den erwarteten Bedarf an Schulgebäuden zu decken. Das geht so weit, dass auch Gebäude mit ursprünglich anderen Funktionen als mögliche zukünftige Schulgebäude in Betracht kommen. Aus diesem Grund wurde am Kickoff Meeting in Antwerpen das Gebäude „Desquinlee“ als erstes Beispielobjekt für die Anwendung vorfabrizierter Fassadenmodule mit integrierter (zentraler) Lüftung gewählt. Abbildung 34 zeigt einige Ansichten des Gebäudes.

Die Aufgabe bestand darin, die vorfabrizierten Fassadenmodule mit integrierten Lüftungsleitungen für Mehrfamilienhäuser direkt auf dieses „Schulgebäude“ zu adaptieren und gleich sehr praxisnah konkrete Fragestellungen aufzudecken. Das Gebäude ist kein Schul- sondern ein Bürogebäude, das aufgrund des Baulandmangels in ein Schulgebäude umfunktioniert werden soll. Die hohe Anzahl Geschosse des Bürogebäudes ist bei Schulgebäuden nicht üblich. Typische Schulgebäude der Fallstudien sind 2-3 geschossig (17 von 28 Fallbeispielen). Dennoch konnten in diesem Extremfall wertvolle Erkenntnisse für die Adaption von Fassadenmodulen für Mehrfamilienhäuser auf Fassaden von Schulgebäuden gewonnen werden. Später wurde dieses Objekt wieder von Belgien aus der Wahl genommen, weil auf politischer Ebene ein Abbruch des Gebäudes entschieden wurde.

Das Gebäude besteht aus einem Sockelgeschoss und fünf Vollgeschossen. In den Vollgeschossen sind die Klassenzimmer vorgesehen. Die Zentrale für die Lüftung ist auf dem Dach, sowie auch im Sockelgeschoss platzierbar. Somit können vertikal geführte Lüftungsleitungen in den Fassadenmodulen eingebaut und betrieben werden. Die

grundsätzliche Eignung des Gebäudes zur Anwendung von Fassadenmodulen mit integrierten Lüftungsleitungen ist damit vorerst gegeben. Das Gebäude besteht aus den Fassadentypen Skelett- und Lochfassade.



Abbildung 34: Desquinlee in Antwerpen, ein älteres Bürogebäude soll zu einem erneuerten Schulgebäude umfunktioniert werden.

Aufgrund der Stützenkonstruktion in den Geschossen handelt es sich hier um weitgehend flexible Grundrisse. Die Klassenraumeinteilungen sind damit frei planbar. In Tabelle 9 sind noch weitere Rahmenbedingungen aufgeführt. Diese können so auch bei anderen Objekten als Vorprüfung verwendet werden. Die Tabelle ist hier auf das Objekt Desquinlee bezogen und daher nicht abschliessend für sämtliche mögliche Objekte.

Bauplatzinstallation	Das Gebäude als Ganzes ist umgeben von viel Freiraum, so dass sich eine störungsfreie Bauplatznutzung ergibt und keine Behinderung durch z.B. enge und/oder stark benutzte Strassenräume während der Montage von vorfabrizierten Elementen entsteht.
Planung Bauphasen	Das Gebäude wird zur Zeit nicht betrieben, der Baubeginn wäre nach Planung, Bewilligungsverfahren und Produktion der vorfabrizierten Elemente jederzeit möglich. Ein Termindruck, verursacht durch möglichst kurze Bauzeit, wäre weniger ausgeprägt. Dies ist vorteilhaft für das Anlernen neuer Systeme am Bau, z.B. der Umgang mit der Montage von solchen Modulen.
Statik	Das Gebäude ist eine Skelettkonstruktion. Die horizontale Scheibenwirkung gegen die Torsion wird von den massiven Zwischentrakten übernommen. Damit sind die Ausmauerungen bei den Fensterbereichen verzichtbar.

Rückbau von bestehenden Fassadenteilen	Die vorstehenden, vertikalen Betonzierelemente haben keine statische Funktion und können entfernt werden (siehe Abbildung 35). Dies ist hier notwendig für eine plane Ausgangsebene der bestehenden Fassade. Eine Montagemöglichkeit für vorfabrizierte Elemente wäre dann auf der Ebene der bestehenden Mauerung möglich (entspricht Schnittstelle von bestehender und neuer Konstruktion und Ebene des Masstoleranzausgleichs). Eine andere Option wäre der komplette Ausbruch der bestehenden Aussenhülle (unter Beibehaltung der tragenden Fassadenstützen, die statisch erforderlich sind) und so die Schaffung einer Skelettfassade als Ausgangslage (Anwendungsmöglichkeit der Module gemäss Abbildung 61).
Optionen Lüftung	Aus Sicht der Konstruktion für vorfabrizierte Elemente gilt folgendes: Die zentrale und dezentrale Lüftung sind denkbar (Beschrieb System dezentrale Lüftung siehe Kapitel 3.4, 3.5). Die <i>zentrale Lüftung</i> benötigt genügend opake Fassadenbereiche, damit möglichst wenige Fensterbereiche für die Führung von vertikalen Lüftungsleitungen abgedeckt werden. In den Fallstudien allgemein beträgt das Verhältnis der Fensterflächen zu den opaken Flächen 1:2.05, d.h. die opaken Fassadenflächen sind rund doppelt so gross wie die Fensterflächen. Die <i>dezentrale Lüftung</i> bietet hier ein Potential eines hohen Multiplikatoren Effektes betreffend der Wiederholung der Elemente, da viele Fensterbereiche gleiche Grössen besitzen und aufgrund der vorfabrizierten Betonelemente des bestehenden Baues auch geringe Masstoleranzen bei den Maueröffnungsmassen zu erwarten sind.
Brüstungs- Sturz-Fensterhöhen, Konstruktionen dazu	Bei der zentralen Lüftung würden Durchdringungen durch bestehende Stürze bzw. Brüstungen für die Ausführung eingeplant werden müssen. Dies sind relevante Merkmale, die in der Typologie erfasst sind. Bei der dezentralen Lüftung könnten Sturz, Brüstung, Storen usw. in einem einzigen, vorfabrizierten Element, ohne Durchdringungsprobleme bei bestehenden Konstruktionen, gelöst werden, hauptsächlich anwendbar bei Skelett- und Bandfassaden siehe Fokustypen FT S1-S3 und FT B1-B3 (Fokustypen Kapitel 3.2).
Länge der Klassenzimmer	Standardklassenzimmer/Gruppenräume mit Grundrissmassen von 10 m X 7 m sind planbar.
Raumhöhen Klassenzimmer, Gruppenräume	Die lichten Raumhöhen liegen im Bereich wie in den Fallstudien (3.10 m – 3.75 m gemäss Fallstudien im Anhang).

Tabelle 9: weitere Rahmenbedingungen von Desquinee, Antwerpen

Unter folgenden Annahmen werden in einem Geschoss Standardklassenräume platziert (70 m X 10 m) damit eine denkbare Ausgangslage für die Bestimmung von Rohrdimensionen vorliegt, so dass Frischluftsimulationen und räumliche Anordnungen der erforderlichen Lüftungsleitungen definierbar werden. Dazu wird nur der mittlere Bereich des Gebäudes betrachtet, weil dort das ungünstigste Verhältnis von opaker Fassade zu Fensterbereich vorliegt.

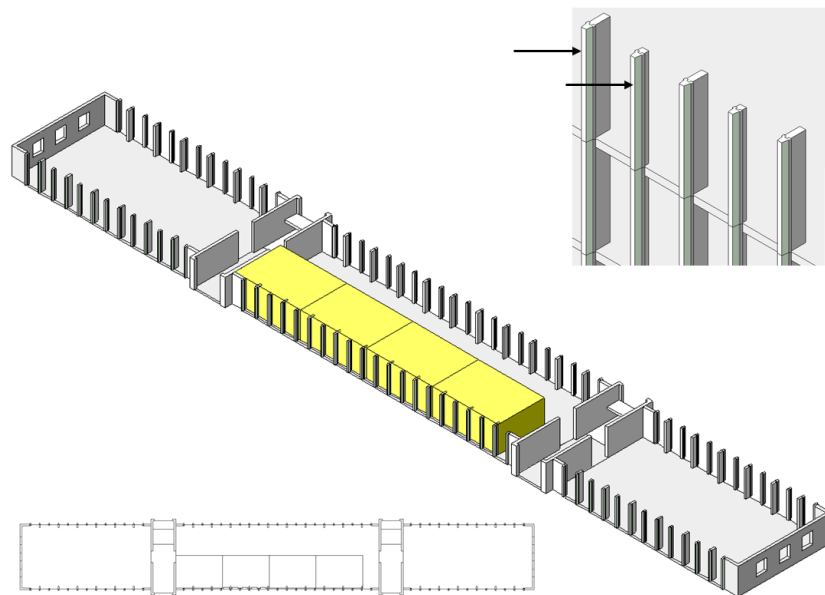


Abbildung 35: Annahme von Standard Klassenräumen, angeordnet zur Festlegung von Leitungsführungen in der Fassade. Die Pfeile weisen auf die entfernbaren Zierteile.

Der erste Schritt ist die Bestimmung der Durchmesser der Querschnitte von Lüftungsleitungen inklusive anliegender Ummantelung mit Wärmedämm-Material. Der Durchmesser hängt stark vom Frischluftbedarf der angeschlossenen Räume ab. Dies ist insofern zentral, weil die Masse der Querschnitte sich dann auf die ganze Konstruktion auswirken und entsprechend geplant werden muss (entspricht kritischem Weg der Lüftungsführung im Gesamtsystem).

Im Wohnungsbau können Durchmesser für Lüftungsrohre (Rundrohre) mit rund 80 mm – 100 mm Durchmesser ausreichen. Mit den im Bericht [4] beschriebenen Halbschalen aus Steinwolle für Montage und Brandschutz für die Lüftungsleitungen ergibt sich dort ein für die Planung vorgegebener Querschnitt von 140 mm X 140 mm (siehe Abbildung 36). Diese Masse sind einerseits relevant für das Gesamtmass von mehreren, nebeneinander zu liegen kommenden Lüftungsleitungen vor opaken Wandbereichen als auch als Mass für Durchdringungen von bestehenden Konstruktionen (z.B. Sturzbereich, siehe Abbildung 50). Bei der Berechnung der Querschnitte von Lüftungsleitungen werden vorerst genügend grosse Durchmesser gewählt. Dimensionsverkleinerungen durch höhere Volumenströme sind denkbar. Aus dem oben angenommenen Beispiel ergeben sich Rohrdurchmesser von 30 cm.

Während bei der Erneuerung von Fassaden bei Mehrfamilienhäusern Gesamtmoduldicken von über 30 cm (mit z.B. 28 cm Wärmedämmung akzeptiert sind, dürfte das bei Schulgebäuden mit deutlich dickeren Elementen (Ausgangsass von 36 cm + x, gemäss Abbildung 36) etwas überdimensioniert wirken. Es verändert die Architektur im äusseren Erscheinungsbild einschneidend, vor allem wenn die Rohrbereiche gegenüber anderen Fassadenbereichen vorstehen. Auch aus energetischen Gründen wäre beim Klima von Antwerpen als auch mit der guten Gebäudehüllzahl in diesem Projekt eine Wärmedämmung von 36 cm sehr mächtig (U-Wert je nach Lambda Wert des Wärmedämmmaterials unter 0.1 $W/(m^2K)$).

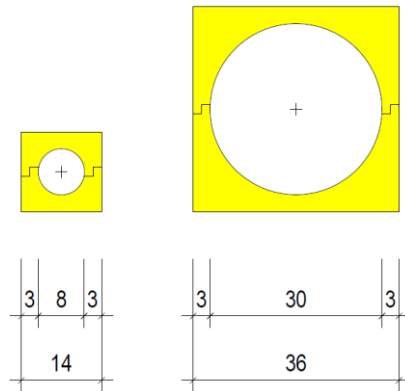


Abbildung 36: Dimensionsveränderung der Querschnitte für Durchdringungen und Planung der Masse von Lüftungsleitungen. Links zum Vergleich für Mehrfamilienhäuser, rechts für das Beispielobjekt Desquinee als Schulgebäude.

Neben der Dicke des vorfabrizierten Fassadenmoduls ist die Breite der notwendigen Lüftungskanäle ein wichtiger Faktor bei der Dimensionierung. In Abbildung 37, Abbildung 38, und Abbildung 39 sind die Auswirkungen mehrerer nebeneinander, hintereinander oder zusammengeführter Lüftungsrohre an der Fassade auf die Gesamtdimension der Lüftungskanäle dargestellt. Die Darstellungen berücksichtigen die umgebenden Dämmungen zur Erfüllung von Brandschutzanforderungen. Die weiteren Konstruktionen sind weg gelassen, damit das Problem der Rohrdimensionen hervortritt. Die horizontalen Abzweigungen sind diejenigen Rohre, die von aussen in die Klassenräume gehen (entspricht auch Durchdringungen durch die bestehende Wand).

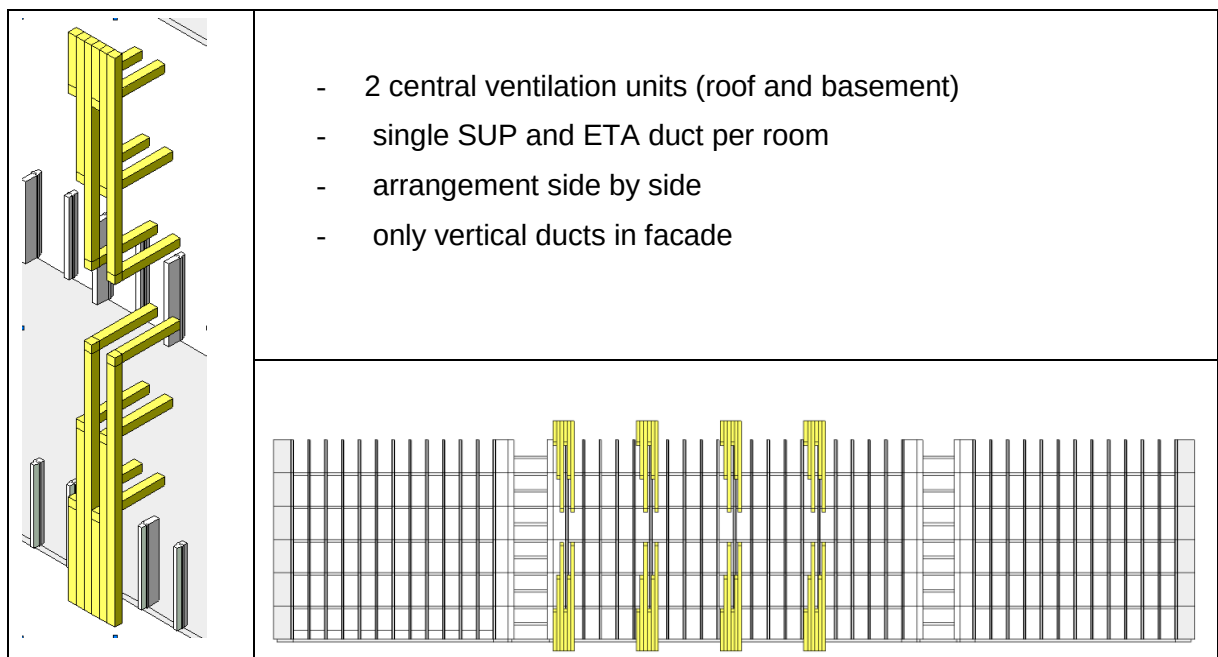


Abbildung 37: Zentrales Lüftungssystem mit Einzelrohr für Zu- und Abluft, nebeneinander

Aus Abbildung 37 ist klar ersichtlich, dass mit dieser Leitungsführung zu grosse Fensterbereiche verdeckt werden und ein solcher Weg keine Lösung sein kann. Das Problem verschärft sich, je höher die Anzahl der Geschosse ist. Schulgebäude mit z.B. nur zwei Geschossen sind mit diesem Lösungsansatz wiederum denkbar. Die Akzeptanz der Verdeckung vom Fensterbereich ist dann das Hauptkriterium.

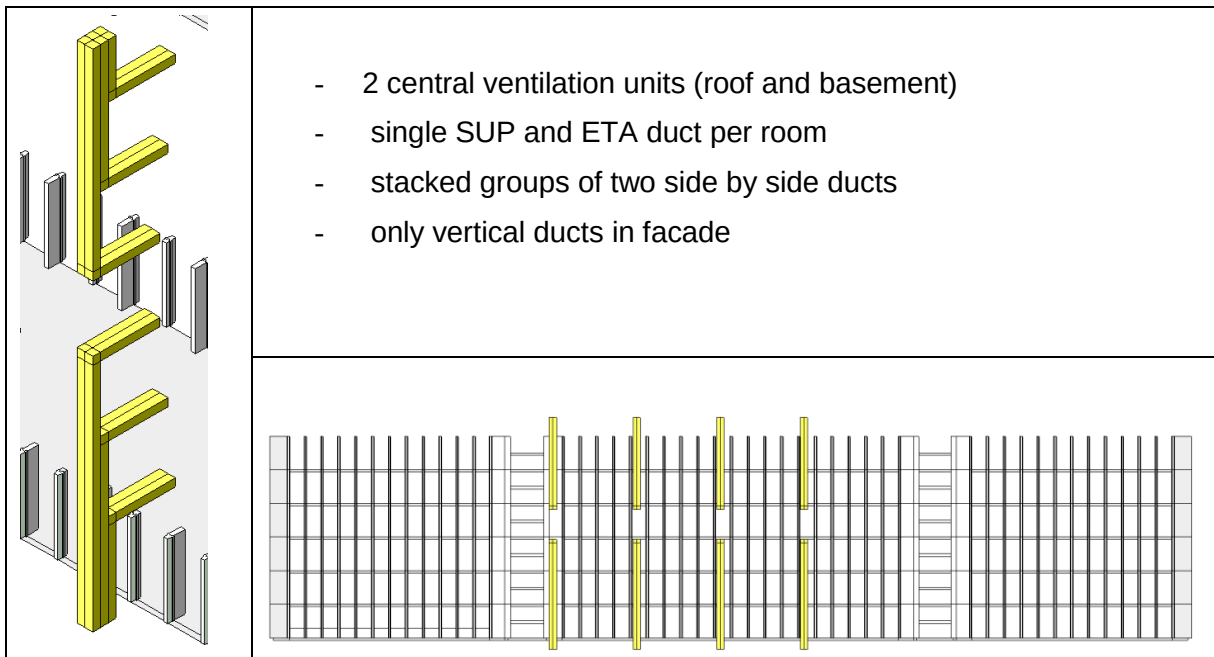


Abbildung 38: Zentrales Lüftungssystem mit Einzelrohr für Zu- und Abluft, voreinander

Mit dem hintereinander stellen der Rohre wird das Problem der Verdeckung von Fensterbereichen entschärft. Das Vorstehen der Elemente an der Fassade (hier über 1 m) führt aber zu einem „vertikalisierten“ Erscheinungsbild. Man könnte dies als gestalterisches Element bestimmt nutzen, aber die Ausgangslage für die Fassadengestaltung wäre präjudiziert. Zudem entstehen durch diese Anordnung der Rohre erhebliche Verschattungen, die je nach Ausrichtung des Gebäudes die solaren Gewinne durch die Fenster verringern aber vor allem auch das Tageslicht.

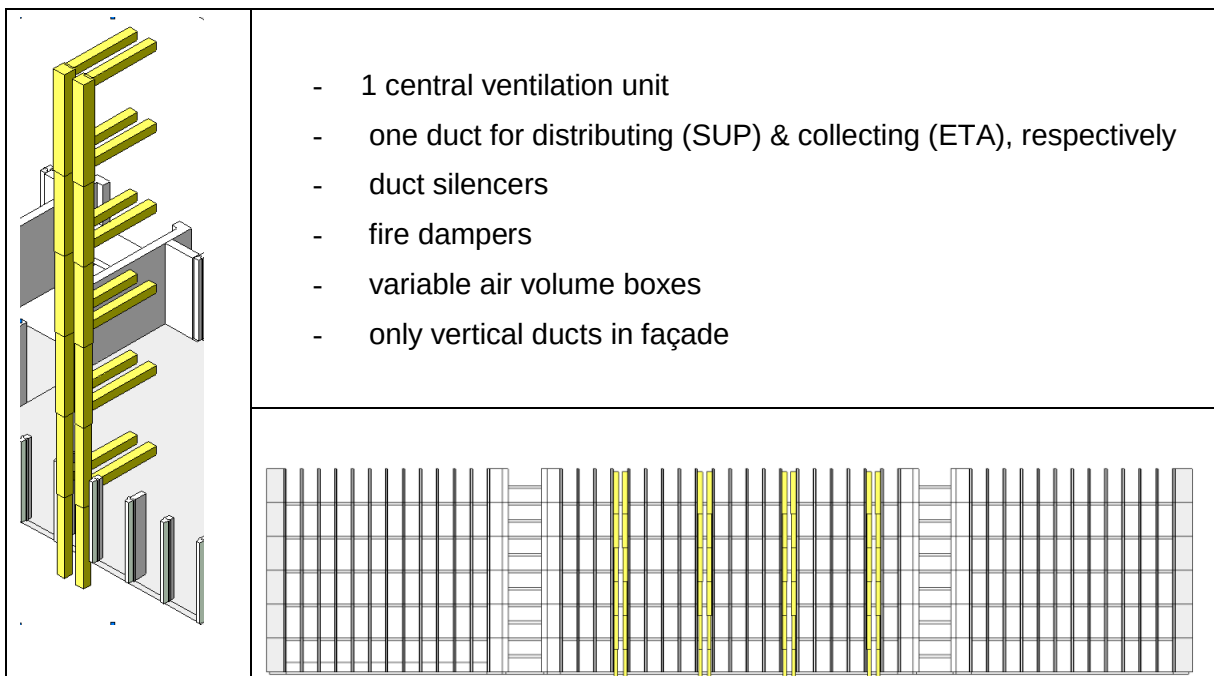


Abbildung 39: Zentrales Lüftungssystem mit kombinierter Zu- Abfuhr

Eine denkbare Lösung ist das Zusammenfassen der Rohre. Hier bestimmt aber das dickste Rohr den Rest. Das können Rohre mit 80 cm Durchmesser sein. Daraus folgen dann Mischauswirkungen aus den beiden oben genannten Situationen. Zudem steigt der Aufwand

für z.B. Brandschutzklappen. Auch hier hängt der Einfluss von der Anzahl der Geschosse ab. Schulgebäude mit 1-3 Geschossen sind denkbar mit dieser Lösung.

Die Möglichkeit mit Flachkanälen den Gesamtquerschnitt der Lüftungsleitungen zu verkleinern entfällt, da die Rohr zu Rohr Steckverbindung mit Doppellippensystem nur mit Rundrohren sicher dichtet. Abbildung 40 fasst die verschiedenen Verteilungen zusammen, so dass für alle die Auswirkung auf die Fassaden vorstellbar ist.

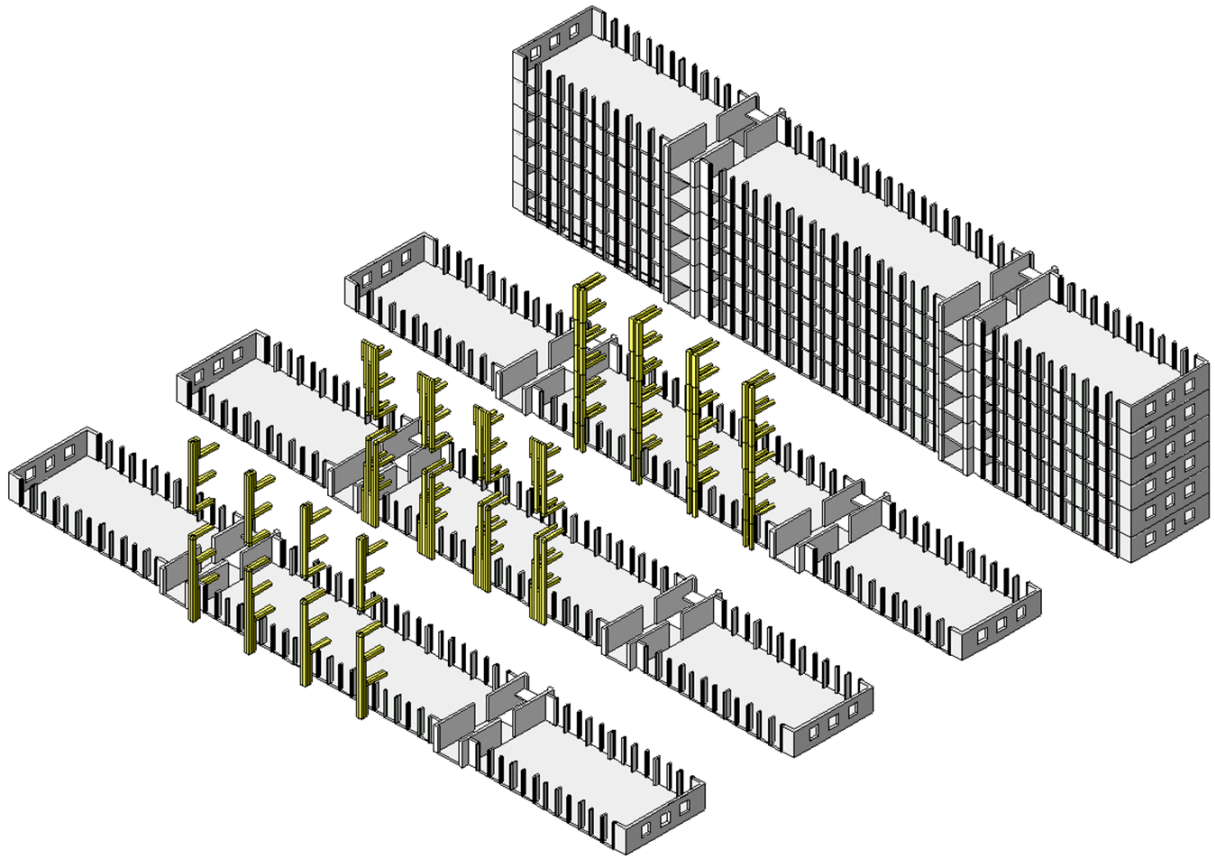


Abbildung 40: Gesamtdarstellung der möglichen vertikalen Lüftungsleitungsverteilung

Auch bei den Möglichkeiten der Befestigung von Fassadentafeln gibt es weitere Unterschiede zum Mehrfamilienhausbau, der vorwiegend Lochfassaden hat. Bei Schulgebäuden finden wir die zwei weitere Fassadentypen Skelett- und Bandfassade vor. Für die beiden letztgenannten eignen sich die Befestigungen der Module wie bei den Lochfassaden nicht (z.B. Flachmetallschienen gemäss Kapitel 2.2.2, [4]).

Vorläufige Schlussfolgerung

Die vorfabrizierten Fassadenmodule mit integrierten Lüftungsleitungen für den Mehrfamilienhausbau sind nicht 1:1 auf die Erneuerung von Schulgebäuden übertragbar. Technisch gesehen ist dies zwar möglich, aber unsicher ob es auch aus rein wirtschaftlichen Gründen realisierbar bleibt. Der Massgebende Grund ist aber, dass ein zu starker Eingriff in den architektonischen Handlungsspielraum eintritt. Zwar ist der Einbezug eines bestimmenden, vertikalen Elementes in der Fassade möglich und kann manchmal durchwegs auch architektonisch gelöst werden. Die geometrischen Auswirkungen der vertikalen Rohrführungen prägen aber das Fassadenbild so stark, dass diese kaum so als Lösung im Allgemeinen gelten können. Das Problem ist, dass mit diesen Dimensionen die Fensterbereiche „zugedeckt“ werden, vor allem bei vielstöckigen Gebäuden und den Skelett- und Bandfassadentypen. Das Verhältnis Mauerwerk zu Fenster ist zu oft ungünstig. Auch bei

grösseren Dämmstärken der Fassade ist es nur unter eng begrenzten Randbedingungen möglich, die Lüftungsrohre nach aussen hin unsichtbar in der Fassade zu führen. In Abweichung der vertikalen Einzelrohrführung bei den CCEM-Modulen kann die Situation etwas entschärft werden, indem die Räume mit Sammelrohren, unter Berücksichtigung der besonderen Brandschutzbestimmungen, erschlossen werden. Teilweise würde aber diese Ausgangslage auch eine Entstellung der Fassade nach sich ziehen können. Daher muss wegen der fehlenden allgemeinen Anwendbarkeit vorerst die direkte Übertragung der Fassadenmodule für den Mehrfamilienhausbau in den Schulgebäudebau als unvollständig bewertet werden.

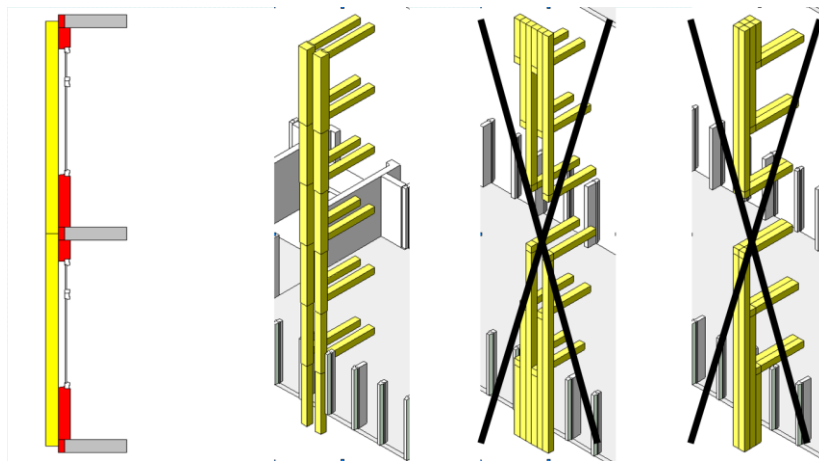


Abbildung 41: links Fassade mit vorgehängten Modulen, rechts: diskutierte Rohrführungen in der Fassade

Zusätzliche Elemente für Planung und Konstruktion

Die grundsätzlichen Prinzipien der Planung- und Konstruktion von vorfabrizierten Fassadenelementen mit integrierter Lüftungsleitung aus dem Mehrfamilienhausbau können übernommen, müssen aber noch für die spezifischen Bedürfnisse aus Sicht der Schulgebäude ergänzt werden.

Das alleinige Konzept der zentralen Lüftung mit rein vertikal geführten Lüftungsleitungen ist nicht ausreichend, um den Gebäudepark mit seinen drei verschiedenen Fassadentypen bedienen zu können. Mit zusätzlichen Elementen bleibt aber dieses Konzept doch durchwegs für einige Schulgebäude nützlich, wenn es sich um Lochfassaden und 1 - 3 geschossige Gebäude handelt.

Die wichtigsten zusätzliche Elemente dabei sind:

- die Nutzung anliegender opaker Bereiche (siehe z.B. Abbildung 48)
- die Einführung der horizontalen Lüftungsleitungsführung (ähnlich Beispielen in Abbildung 47)
- die Verteilung des erforderlichen Rohrquerschnitts auf mehrere Lüftungsrohre



Abbildung 42: Aufteilung des erforderlichen Lüftungsquerschnittes in opaken Bereichen.

Des Weiteren sind für die Lösungsfindung für Nicht-Lochfassaden folgende Elemente einzuführen:

- das dezentrale Lüftungssystem (Kapitel 3.5)
- die automatische Fensterlüftung (Kapitel 3.6)
- manuelle Fensterlüftung (Kapitel 3.7), wobei diese hier nicht als kontrollierte Lüftung gesehen wird

3.4. Lösungsablauf zentrale Lüftung

Aufgrund oben gezeigter Rahmenbedingungen für Lüftungsleitungen in vorfabrizierten Fassadenmodulen werden in den folgenden Kapiteln die drei grundsätzlichen Möglichkeiten aufgeführt, die für kontrollierte Frischluftversorgung bei der Planung in Frage kommen.

Tabelle 10 gibt für die Planung zentraler (als auch grösstenteils dezentraler Lüftung) einen Überblick über das Vorgehen, wie schrittweise anhand von Teilbereichen und, wenn erforderlich, iterativ vorgegangen werden kann. Dabei geht es in einem ersten Schritt um die technische Machbarkeit, bezogen auf die bestehende Fassadenkonstruktion. Für die automatische Fensterlüftung gemäss Kapitel 3.6 gilt die Vorgehensweise bedingt, für die manuelle Fensterlüftung gemäss Kapitel 3.7 nicht.

1. Kriterien bestehende Fassade	Welcher Typ Fassade ist vorhanden und ist daraus aus Sicht der Konstruktion ein ideales Lüftungssystem bestimmbar? (Loch- Skelett-Bandfassade)
2. Lüftungsleitungsverteilung	Sind die Lüftungsleitungen so platzierbar, dass sie Zu- und Abluft ermöglichen? (<i>kritischer Weg aus Sicht der Planung</i>)
3. Durchdringungen	Gibt es konstruktive Problemstellen bei den Durchdringungen für Lüftungsleitungen durch die bestehende Gebäudehülle? (<i>kritischer Weg aus Sicht der Konstruktion</i>)
4. Befestigung	Können Module mit der erforderlichen statischen Sicherheit am vorhandenen Mauerwerk befestigt werden?
5. Konstruktion vorfabriziertes Fassadenmodul	Gibt es zusätzliche Hinweise für die Detailwerkplanung der Konstruktion von Modulen?

Tabelle 10: Übersicht Vorgehen bei der Planung im Fall zentrale/dezentrale Lüftung, automatische Fensterlüftung

Im besten Fall findet ein einziger Durchlauf bei den fünf Planungspunkten statt. Ein iterativer Vorgang kann dann erforderlich werden, wenn z.B. der notwendige Durchmesser von Rohren grösser ist, als die mögliche Durchdringung an der bestehenden Wand (Durchmesserbestimmung müsste dann, wenn möglich, kleiner ausfallen). Dies kann dann zusätzliche Baumeistervorarbeiten an der bestehenden Fassade zur Folge haben, z.B. das Erstellen neuer, tiefer liegenden Stürze mit genügend grossen Massen für die Durchdringung von Lüftungsrohren.

1. Kriterien bestehende Fassade

Zentrale Lüftungsanlagen mit ausschliesslich vertikalem Verteilsystem in der Fassade

Diese sind für tragende Aussenwandkonstruktionen geeignet. Bei Lochfassaden (z.B. mit massiver Brüstung und Sturz) werden die vorgefertigten Fassadenmodule mit integrierter Lüftung auf die bestehende, statisch tragende Aussenwand aufgebracht. Die Lüftungsleitungen verlaufen vorwiegend zwischen den Fassadenöffnungen (opake Bereiche) in vertikaler Richtung, wobei die Fassadenmodulhöhe (Geschosshöhe < zulässige Transporthöhe auf Strassen) und die konstruktionsbedingten Merkmale der Aussenwand die limitierenden Kriterien darstellen. Dieser Lüftungstyp ist vorwiegend für Lochfassaden mit breiten opaken Bereichen geeignet (vgl. Fokustypen FT L1-L3, Kapitel 3.2).

In den Fallbeispielen sind Lochfassaden (mit Fensterabständen > 60 cm) vor Korridorflächen, administrativen Flächen oder Wohnflächen (Internatszimmer) anzutreffen. Diese Gebäudebereiche können also über ausschliesslich vertikale Verteilsysteme versorgt werden. Vor Klassenzimmern sind in der verfügbaren Stichprobe nur wenige Lochfassaden vorhanden. Eine zentrale Lüftungsverteilung mit ausschliesslich vertikalem Verteilsystem in den vorgefertigten Modulen ist deshalb nur in Ausnahmefällen anwendbar.



Abbildung 43: Lochfassaden am Beispiel der Fallbeispiele A03 (links - AEE INTEC), A05 (mittig - AEE INTEC), und CH04 (rechts - IEBau/CCTP)

Zentrale Lüftungsanlage mit vertikalem- und horizontalem Verteilsystem

Dieser Lüftungstyp kann vorwiegend für Loch- oder Bandfassaden mit massiven- oder ausgefachten Konstruktionen in Betracht gezogen werden (vgl. Fokustypen FT L1-L3 und FT B1-B3, Kapitel 3.2). Er ist für tragende als auch nichttragende Aussenwandkonstruktionen geeignet. Bei Bandfassaden, z.B. mit vorgehängten Beton- oder Metallelementen, werden die vorgefertigten Fassadenmodule gegen die bestehenden Bauteile ausgetauscht. Die Lüftungsleitungen verlaufen zwischen Fassadenöffnungen in vertikaler Richtung und im Brüstungsbereich in horizontaler Richtung, wobei die Modulhöhen und die konstruktionsbedingten Merkmale der Aussenwand die limitierenden Kriterien darstellen.

In den Fallbeispielen sind vor Unterrichtsräumen hauptsächlich Bandfassaden mit Fensterabständen < 60 cm anzutreffen (siehe Abbildung 44 für Beispiele). Eine zentrale Lüftungsverteilung in den vorgefertigten Modulen ist unter folgenden Bedingungen dennoch anwendbar:

- Vertikale Lüftungsverteilung zwischen Fenster und Gebäudekante (Abstand ab ca. 60 cm) oder an den Giebelseiten
- Horizontale Lüftungsverteilung ab Brüstungs- oder Sturzhöhen von ca. 60 cm



Abbildung 44: Bandfassaden bei den Fallbeispielen CH05 (links – CCTP), CH07 (mittig – CCTP) und DK02 (rechts – DTU)

2. Lüftungsleitungsverteilung

In Abbildung 45 sind Beispiele für mögliche Leitungsführungen bei vertikaler mit zusätzlicher horizontaler Lüftungsverteilung gegeben. Die gezeigten Varianten stellen mögliche Erschliessungen für drei Klassenzimmer von zwei Seiten her dar. Voraussetzung für diese Lösungen ist, dass seitlich genügend breite opake Wandteile für die vertikale Führung vorhanden sind und auch dass die Sturz- und Brüstungsbereiche ausreichend hoch sind.

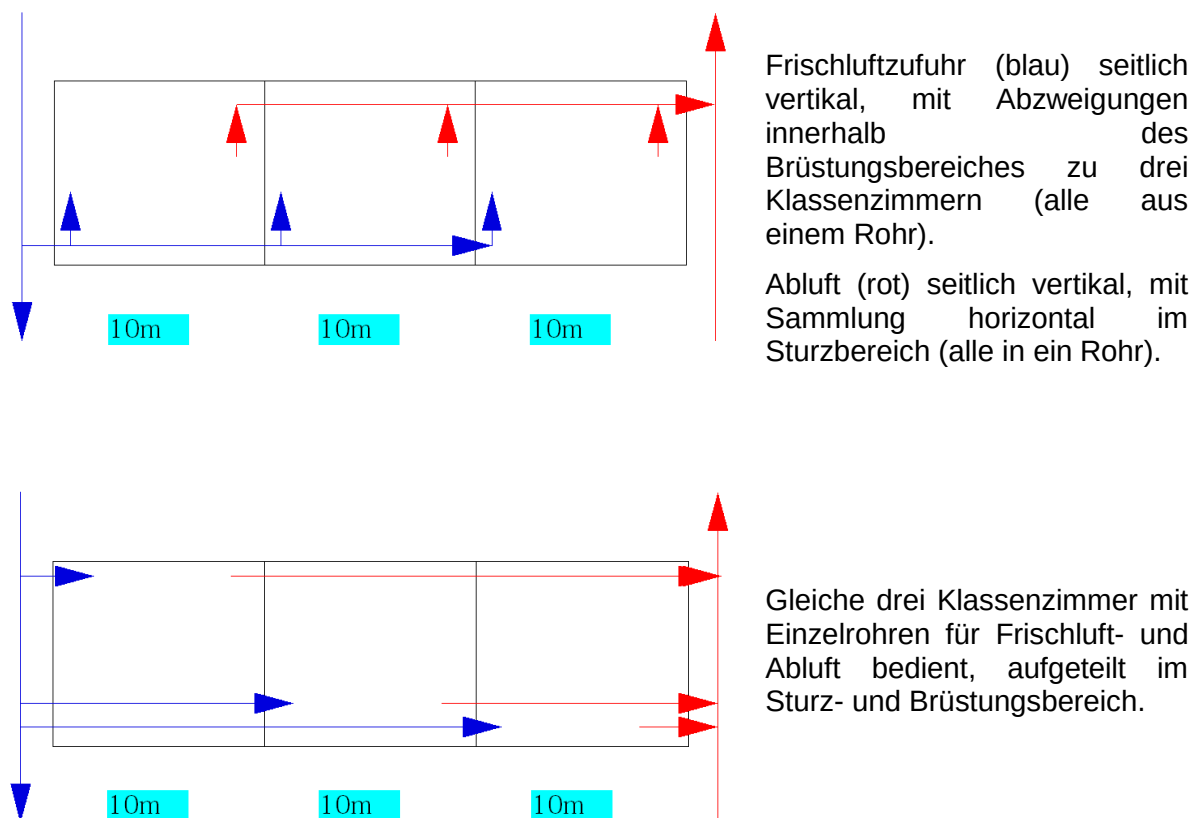


Abbildung 45: vertikale plus horizontale Lüftungsverteilung bei Loch- und Bandfassaden, blau: Frischluftzufuhr/ rot: Abfuhr

In Abbildung 46 sind Beispiele für Fassadensituationen gegeben, welche mit diesen Lösungen für die Führung von Lüftungsleitungen gelöst werden können. Die Beispiele sind in erschwerender Weise mit leichten Vorsprüngen der Betondecken gewählt. Im Gegensatz zu einer einfacheren Führung, wenn keine Vorsprünge da wären, muss hier die störungsfreie Durchdringungen auch in der Tiefe des Schnittes (parallel zur Fassade) mit beachtet werden.

In Variante 1 werden nur im Brüstungsbereich horizontale Lüftungsleitungen verlegt. Dies kann dann der Fall sein, wenn ein Raum Direktanschluss an eine Lüftungsleitung haben muss und gleichzeitig ein Anschluss für einen fassadenseitig anschliessenden Raum im Modul zu liegen kommen muss. Bei Variante 2 ist die Verteilung in den Bereich Sturz und wenig hohe Brüstungen gelegt. Variante 3 zeigt die Maximierung der Anzahl horizontaler Lüftungsleitungen. Dies geht natürlich nur, wenn Brüstung und Sturz genug hoch sind. Das relevante Mass ergibt sich aus verfügbarer Höhe von Sturz oder Brüstung (Durchdringungshinweise beachten) und dem Gesamtmass aus Anzahl Rohre X Rohrdurchmesser (inklusive Ummantelung).

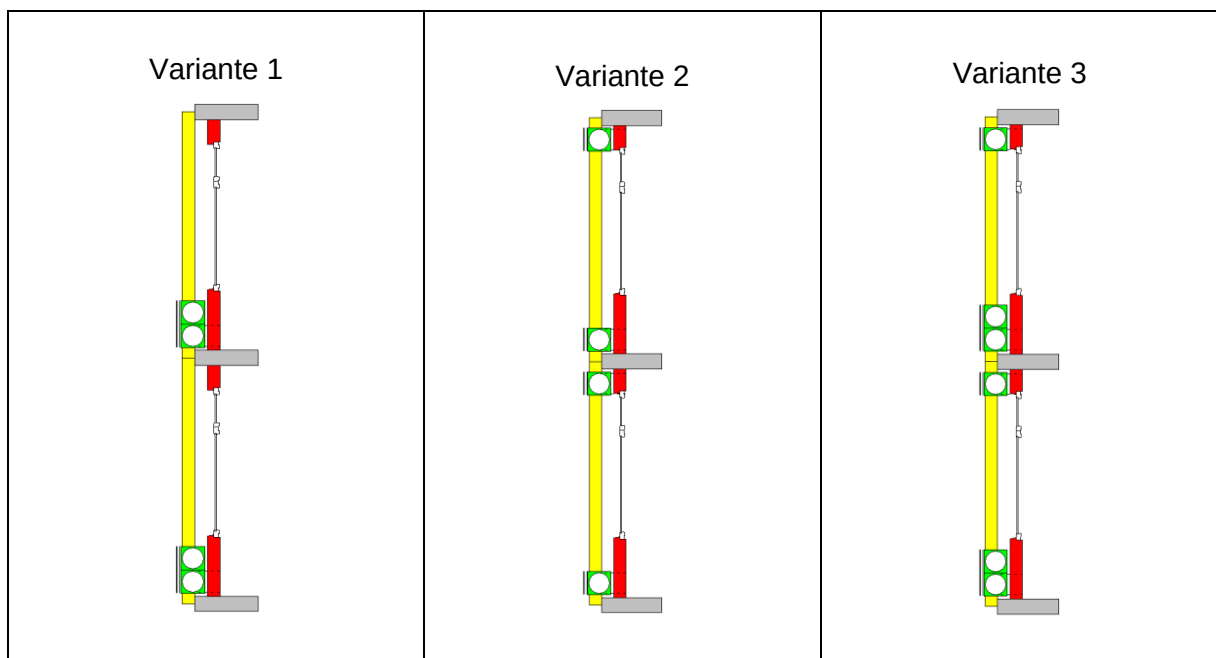


Abbildung 46: drei Grundmöglichkeiten der horizontalen Leitungsführung

Diese Art der Lüftungsleitungsführung eignet sich für Loch-, Skelett- und Bandfassaden (wenn Fassade tragend). Das Prinzip bleibt bei den genannten Fassadentypen das gleiche. Dünnere werdende Randbereiche der Module haben Auswirkung auf die Konstruktionssteifigkeit des Fassadenmoduls. Die horizontalen werden wie die vertikalen Lüftungsleitungen über ein Doppellippen-Stecksystem am Bau miteinander verbunden. Sicherheitsaspekte betreffend Luftdichtigkeit, Kontrolle und Verantwortung sind in [4] beschrieben.

Abbildung 47 zeigt Element-Typen, die als Beispiele und Anregung für die Planung von Lüftungsleitungsführung in vorfabrizierten Fassadenmodulen dienen.

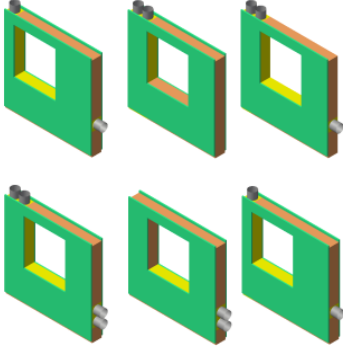
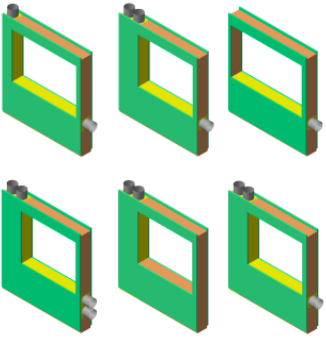
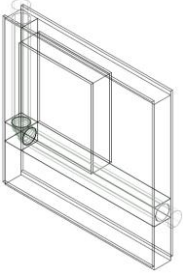
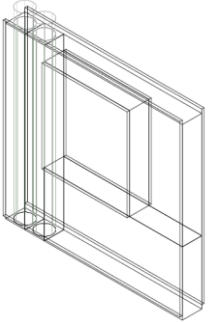
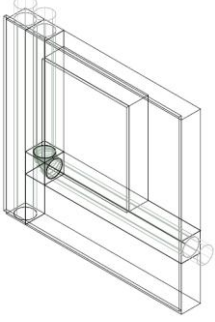
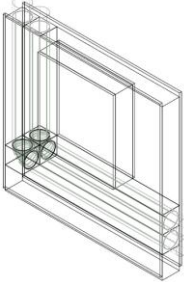
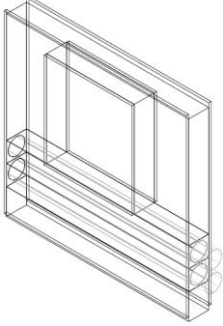
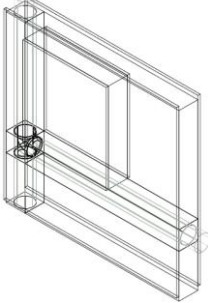
Übersicht für Lochfassade 	Übersicht für Bandfassade 
 Element-Typ L1, B1 1-fache Leitungsdurchführung, von oben nach rechts	 Element-Typ L2, B2 2-fache Leitungsdurchführung, vertikal
 Element-Typ L3, B3 2-fache Leitungsdurchführung, vertikal und von oben nach rechts	 Element-Typ L4, B4 2-fache Leitungsdurchführung, von oben nach rechts
 Element-Typ L5, B5 2-fache Leitungsdurchführung, horizontal	 Element-Typ L6, B6 1-fache Leitungsführung, horizontal und vertikal / T-Stück

Abbildung 47: Varianten der Lüftungsleitungsführung in Fassadenmodulen, vorwiegend für Lochfassaden und Bandfassaden

Überecksituationen, bei denen ein Wandbereich opak ist, bieten ebenfalls die Möglichkeit, vertikale Hauptlüftungsleitungen zu den Geschossen zu verlegen, die dann horizontal abzweigen. Von einer Zentralen aus auf dem Dach können diese an die oberen Anschlüsse geführt werden und dann vertikal die Geschosse ansteuern (siehe Abbildung 48).

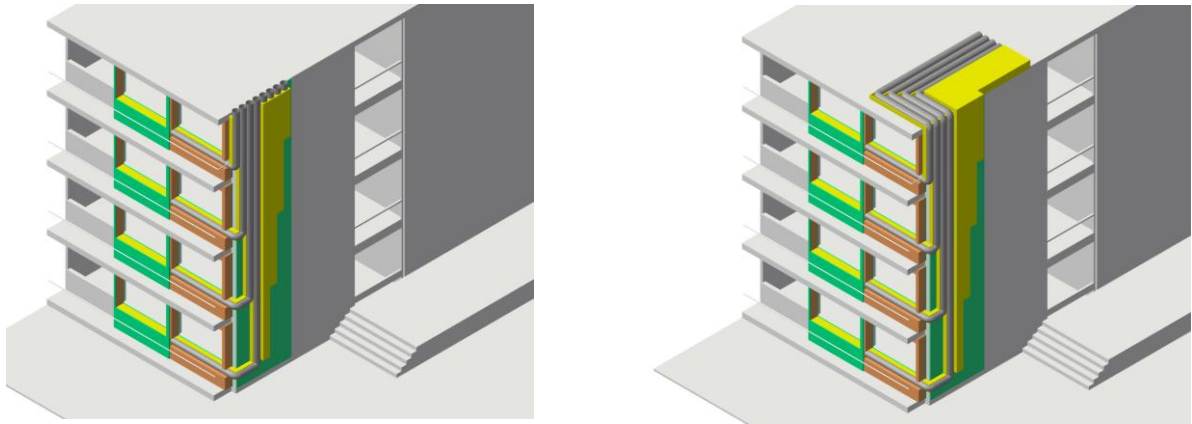


Abbildung 48: Links: Prinzip der Übereckführung von Lüftungsleitungen in der Fassade, rechts: mit Weiterführung auf dem Dach zur Zentrale.

Auf die Art der Frischluftverteilung im Raum mit einer Lochdecke sei noch hingewiesen, z.B. bei vorgegebener Platzierung von Luftzufuhrleitungen an der Fassade und damit raumseitig nicht ideal platzierbarer Zu- oder Abluft. Die Lochdecke ist abgehängt, oben wird die Frischluft eingeblasen und fällt durch die Löcher relativ gut verteilt in den ganzen Raum. Die Abluft kann wieder über die Fassade abgeführt werden, oder auch über den Korridor, was jedoch von den nationalen Brandschutzvorschriften abhängt (in der Schweiz ist dies beispielsweise nicht zulässig).

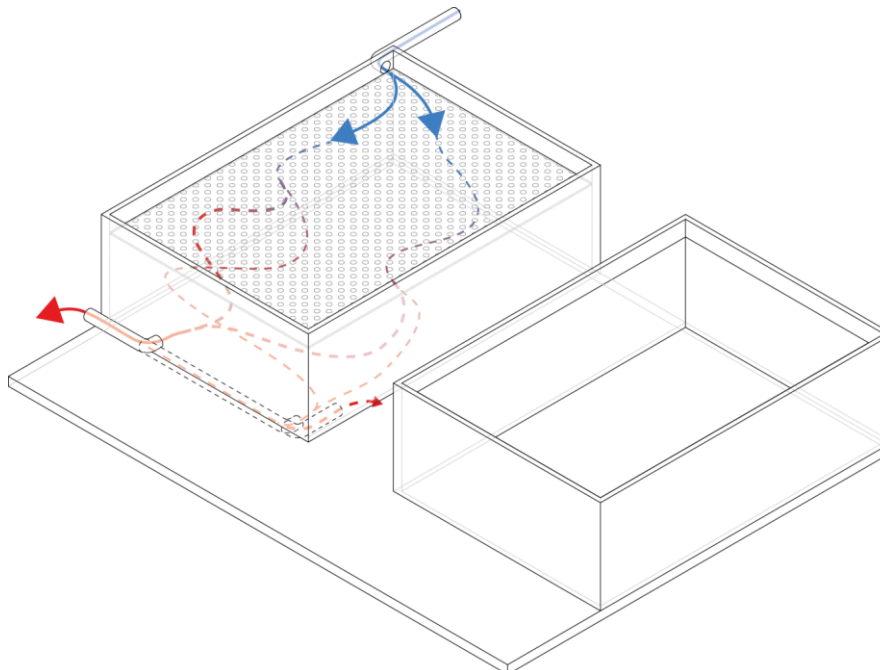


Abbildung 49: Beispiel Verteilung der Frischluft mit Lochdecken

3. Durchdringungen

Unter Durchdringungen sind hier Durchbrüche gemeint, die vom vorgefertigten Fassadenmodul ausgehend durch die bestehende Aussenwand bis in den Innenraum gehen. Die bestehende Aussenwandkonstruktion kann massgebenden Einfluss auf das Planungsverfahren haben. Der Einfluss reicht von zusätzlichen Baumeistervorarbeiten bis hin zur Änderung des Lüftungssystems!

Wenn bei Lochfassaden bestehende Aussenwände belassen werden (ähnliches ist auch bei Skelett- und Bandfassaden zu beachten), sind z.B. die Art der Sturzkonstruktion und deren Masse relevant. Wenn Lüftungsleitungen im Sturzbereich von aussen nach innen durchgeführt werden müssen, werden die vorhandenen Höhenmasse im Gegensatz zu Mehrfamilienhäusern immer wichtig sein, weil die Durchmesser der Rohre für Klassenzimmer in der Regel deutlich grösser sind. Weniger Probleme können wiederum auftreten, wenn die Sturzhöhe aufgrund der grösseren Raumhöhe bei Klassenzimmern genügend gross ist.

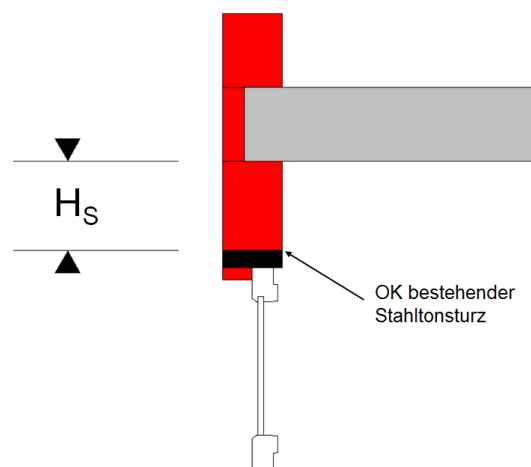


Abbildung 50: H_s =relevante Höhe resp. verfügbarer Bereich des Sturzes für die Planung von zentraler Lüftung mit Rohrdurchdringungen beim bestehenden Mauerwerk

Es darf *nicht* das Mass von UK sichtbaren Sturz bis UK Decke genommen werden, weil das tragende Element des Sturzes aus statischen Gründen beibehalten werden muss. Das relevante Mass H_s für die Durchdringung ist dasjenige von OK bestehendem Stahltonsturz bis UK Decke. Sollte das mögliche Durchbruchmass nicht ausreichend sein, bedeutet das nicht, dass die zentrale Lüftung nicht mehr ausführbar wäre. Jedoch sind entsprechende Baumeisterarbeiten für neue Stürze einzuplanen. Es kann aber auch sein, dass ohnehin eine Fenstervergrösserung geplant ist und damit auch ein neuer Sturz.

Im diesem Sinne sind weitere Durchdringungen wie solche bei Brüstungen, Leibungen usw. zu beachten und auf Durchdringungsmasse und Folgemaassnahmen zu überprüfen. Weiterhin muss die Platzierung von Putzstützen immer nach innen ausgeführt werden. Die Vorprüfung für alle Durchdringungen muss in der Planungsphase stattfinden.

4. Befestigung

Für die Befestigung von Fassadenmodulen sollte immer eine Gerüstung vorgesehen werden. Eine Montage mit Autokran ist grundsätzlich auch möglich, aber eher etwas für Spezialfälle. Mit einer standardmässigen Gerüstung ist es möglich, während der Montage mit entfernbaren Auskragungen zu arbeiten (Auskragungsmass > Fassadenmoduldicke). Dies ist auch wichtig wegen der Arbeitssicherheit, damit die Spalten zwischen Gerüstung und Gebäude in den jeweiligen Bauphasen gering bleiben. Die Erstell- und Nutzzeit des Gerüsts

ist auf die anderen Bauabläufe zu optimieren, z.B. zusätzlichem Anbringen von Perimeterdämmungen, die unter das bestehende Terrain zu liegen kommen.

Fassadenmodule können hängend [4] an den bestehenden Mauern angeschlagen werden. Sie können auch auf Konsolen, teilweise sogar mehrere aufeinander, gestellt werden (wurde so im Projekt Krummbach realisiert, Kapitel 3.9). Dies vereinfacht und beschleunigt das Anbringen der Fassadenmodule, weil die Konsolen vorgängig schon fertig angebracht sind. Dem langzeitigen Auszugsverhalten von Dübeln ist dabei besondere Beachtung zu schenken. Empfohlen werden Auszugs-Belastungsversuche am bestehenden Mauerwerk, die durch einen Statiker geprüft und freigegeben werden.

Statische Befestigungspunkte (konzeptionell) und Schnittstellen

Die Art der Befestigungsmöglichkeiten der Fassadenmodule hat Einfluss auf die Lüftungsleitungsführung und umgekehrt, ähnlich wie in Abbildung 46 gezeigt.

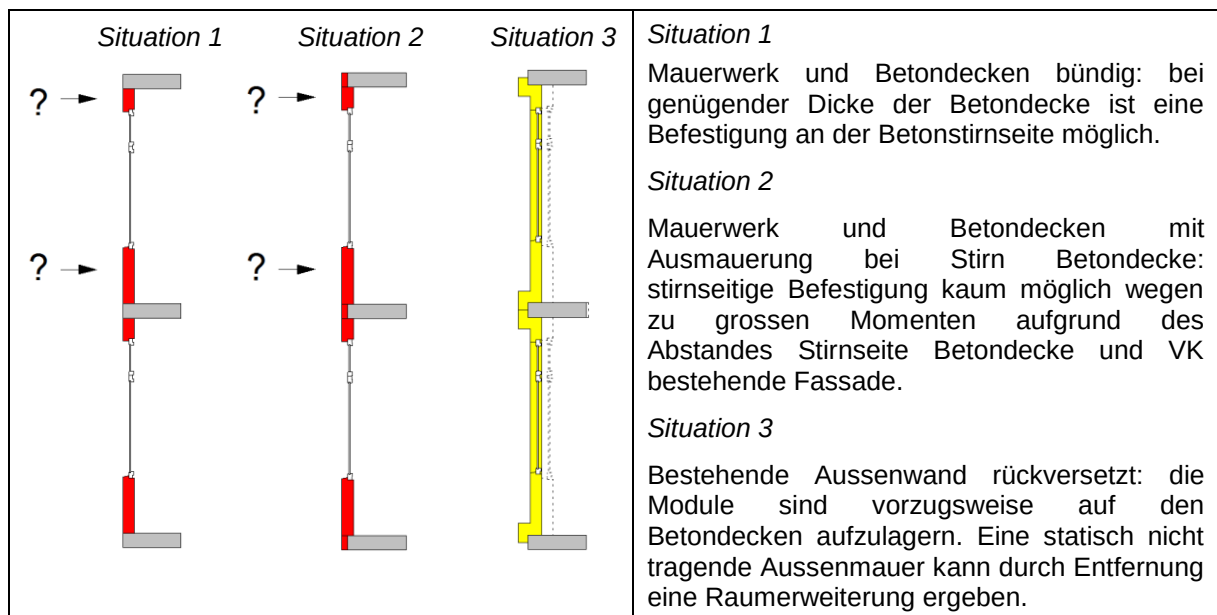


Abbildung 51: Mögliche Ausgangssituationen für statische Befestigungspunkte von Fassadenmodulen. Bestehendes Mauerwerk rot, Betondecken grau, neues Fassadenmodul gelb.

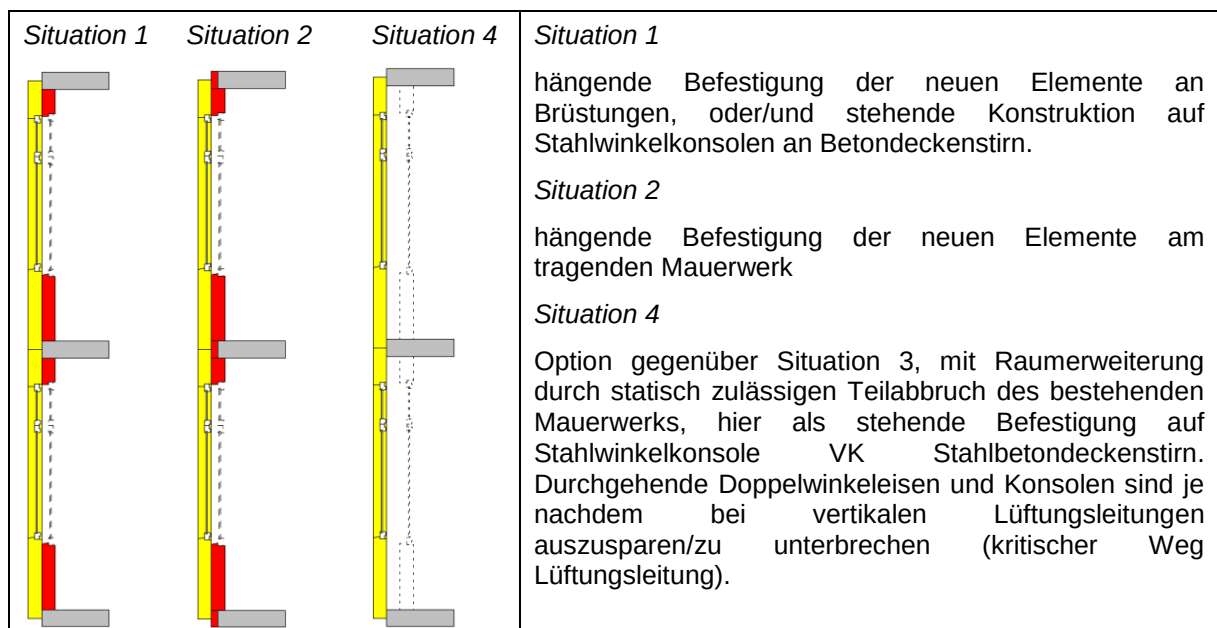


Abbildung 52: Module nach Montage, Farben gemäss Abbildung 51.

5. Konstruktion vorfabriziertes Fassadenmodul

Für die *Planerkoordination* der Medien (Lüftung, Kabel) und die Werkplanung des vorfabrizierten Fassadenmoduls müssen mindestens die oben genannten Punkte 1 - 4 für die Konstruktion des Moduls vorgängig abgeklärt sein. Ebenso müssen auch die Rahmenbedingungen gemäss Tabelle 8 und Tabelle 9 einfließen.

Die unten stehende Werkplanskizze (Abbildung 53) und isometrische Darstellung (Abbildung 54) zeigen eine Zusammenstellung möglicher Bauteile, bei denen bis zum definitiven Werkplan noch Details weiterentwickelt werden müssen. Diese sind gemäss oben aufgeführten Rahmenbedingungen aufeinander abzustimmen. Hier handelt es sich z.B. um den Element-Typ L4, B4, 2-fache Leitungsdurchführung, von oben nach rechts gemäss Abbildung 47. Der Rohrdurchmesser ist hier bewusst mit 34 cm eingezeichnet, um nochmals auf die Mächtigkeit von Fassadenmodulen hinzuweisen. Solche Lösungen sollten mit deutlich weniger Durchmesser der Lüftungsrohre angestrebt werden oder gemäss Abbildung 39 ausgeführt werden.

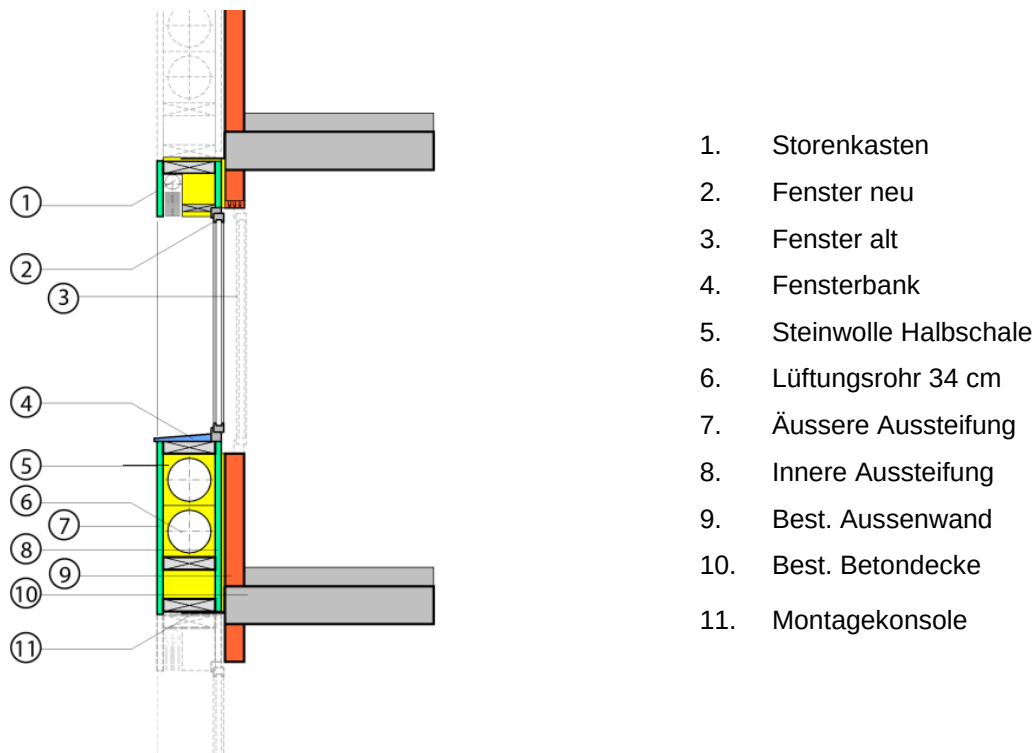


Abbildung 53: Beispiel Schnitt einer horizontalen Leitungsführung (L4/B4 gemäss Abbildung 47).

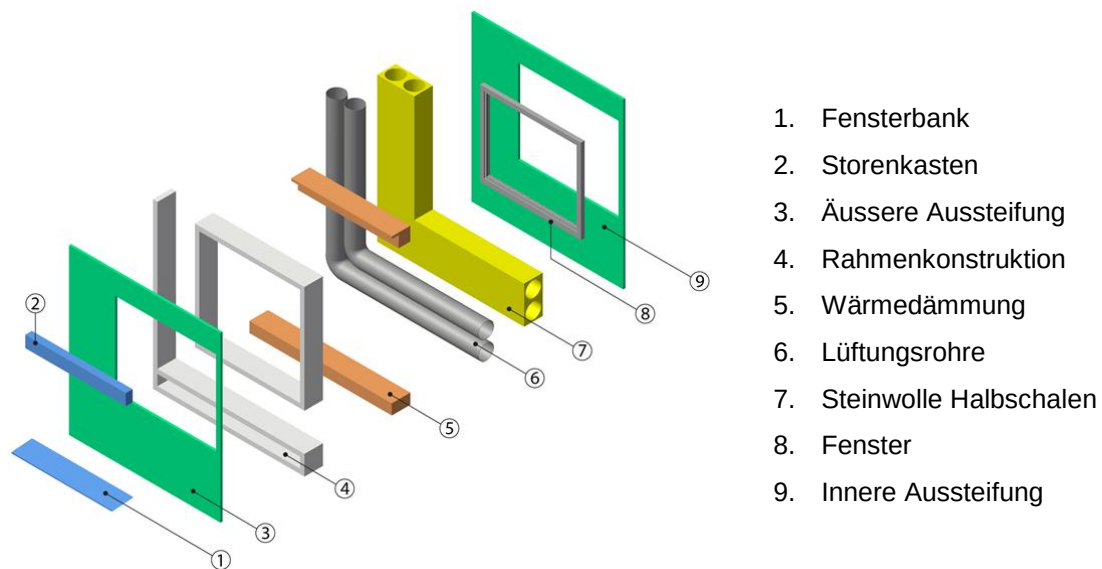


Abbildung 54: Isometrische Darstellung der Bauteile des Elementtyps L4, B4 gemäss Abbildung 53

Schnittstelle von Modul zu Modul am Bau

Die übereinandergestellten Fassadenmodule bilden Schnittstellen, die geplant und so konstruiert sein müssen, dass sie sich am Bau problemlos an- oder ineinander fügen lassen. Dazu gehört auch z.B. der Prozessablauf der Verbindung von Lüftungsleitungen am Bau. Das im Projekt Krummbach getestete Verfahren hat sich bewährt. Das System dieser Lüftungsleitungen ist in [4] genau beschrieben. Zur weiteren Erläuterung ist dazu ein Film auf [25] einsehbar.



Abbildung 55: Zusammenfügen von Fassadenmodulen am Bau, inkl. Vorgang Verbindung von Lüftungsleitungen

Bei stehenden Konstruktionen, also solche Fassadenmodule, die auf Betondecken, Metallkonsolen oder auf unteren Fassadenmodulen aufgelagert werden, ist der Steifigkeit resp. der Tragfähigkeit des Moduls selber mehr Aufmerksamkeit zu widmen, als bei

hängenden Fassadenmodulen. Dies ist erstens bedingt durch die horizontale Führung von Lüftungsleitungen aber auch wegen des grossen Rohrdurchmessers, der die ganze Modultiefe in Anspruch nimmt. Dadurch sind durchgehende, vertikale, statisch verbindende Konstruktionen weniger gut möglich und die Kräfte müssen vermehrt durch die Seitenteile aufgenommen werden (siehe Detail Nr. 3,4,9 Abbildung 54). Dies ist besonders dann der Fall, wenn die horizontale Lüftungsführung maximiert wird und wie in Abbildung 56 Sturz und Brüstungsbereich voll genutzt werden.

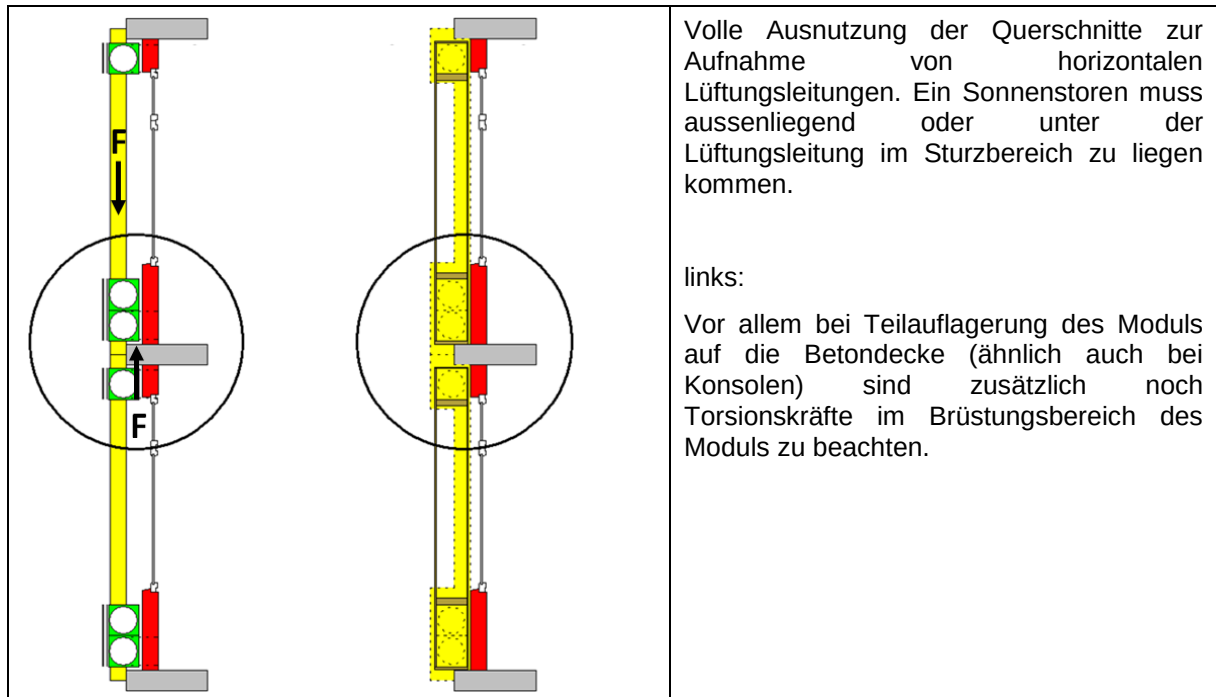


Abbildung 56: Schnittstellen zwischen Modulen und Maximierung der horizontalen Lüftungsleitungsführung und statische Einflüsse auf Fassadenmodule

Hinweis zu Storen

Gut gedämmte Gebäude können auch das Problem der sommerlichen Überhitzung haben. Neben denkbaren Massnahmen, wie z.B. nächtlicher Auskühlung der innenliegenden Speichermasse (zumindest teilweise über die Lüftungsleitung), bleibt der Sonneneinstrahlungsschutz die erste Massnahme. Die Variante in Abbildung 56 schafft zwar die Möglichkeit der maximalen Ausnutzung zur Verlegung von horizontalen Lüftungsleitungen, aber es entsteht die Notwendigkeit, die Storen als Aufsatz zu planen, da im Sturzbereich ohne Verzicht auf maximale lichte Fensterhöhe kein Storenkasten mehr platzierbar ist. Zudem sind aussenliegende Storen zu elektrifizieren, da mechanische Kurbeln zu umständlich sind und ein Wärmebrückenproblem ergeben. Eine Notvariante wäre innenliegender Sonnenschutz. Dieser ist aber wegen der geringeren Wirksamkeit gegen Raumtemperaturerwärmung weniger zu empfehlen. Im Fassadenmodul sind somit grundsätzlich die fertig eingebauten Storen vorzusehen. Die dazu erforderlichen Steuerungs- und Stromkabel für die Elektrifizierung befinden sich ebenfalls im vorfabrizierten Modul. Im Schulklassenbereich soll trotz der Abschattung genügend Tageslicht durchkommen, dies bei Konstruktionen für Loch- Skelett- als auch Bandfassaden. Als grobe Annäherung kann man dazu die Raumhöhe bei den Fenstern in drei Bereiche einteilen [Hannes Gerstmann / Bundesverband Sonnenschutztechnik Österreich, Guntramsdorf, AT]. Das obere Drittel ist dasjenige, wo Tageslicht am effektivsten nutzbar ist. Das mittlere Drittel ist der Bereich, wo die Blendung vermindert werden sollte. Das untere Drittel ist für die Tageslichtnutzung wenig relevant. Solche Konstellationen mit unterschiedlichen Lamelleneinstellungen können mit auf dem Markt verfügbare Storen Systeme gelöst werden. Untenstehend ist ein Beispiel am Objekt Neumarkt/Steiermark. Weitere Informationen dazu sind bei [16] zu finden.



Abbildung 57: Unterschiedliche Lamelleneinstellungen beim erneuerten Schulhaus Neumarkt/Steirmark.

3.5. Lösungsablauf dezentrale Lüftung

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben ist eine direkte Übertragung des zentralen Lüftungssystems vom „CCEM-nachhaltige Wohnbauerneuerung“ auf den Schulgebäudebau nur bedingt möglich. Deshalb müssen weitere Möglichkeiten der kontrollierten Frischluftversorgung über die Fassade betrachtet werden. Zu vermeiden ist dabei, dass Lüftungsleitungen mit grossen Rohrdurchmessern die Dicke der Fassadenmodule zu stark beeinflussen. Daher kommen nun auch Systeme in Betracht, die keine Zu- oder Abluftleitungen durch die Fassadenelemente erfordern. Ein solches sind die auf dem Markt erhältlichen dezentralen Lüftungsgeräte. Dabei handelt es sich um Boxen, die in der neuen Aussenhülle eingebracht werden können und in denen sowohl Ventilatoren als auch der Luftwärmetauscher bereits integriert sind. Die Dimensionen dieser Boxen sind z.B. B X H X T = ab 120 cm / 14 cm / 25 cm. Die Breiten können grösser als 120 cm sein und so an ein Aussenwandstützraster angeglichen werden. Diese Geräte haben nun folgende Eigenschaften: sie können in die vorfabrizierten Module eingebaut werden (horizontal, vertikal), haben einen Lüftungsbetrieb mit Wärmerückgewinnung und die Gebläse sind mehrstufig und ansteuerbar. Der U-Wert liegt bei rund $0.25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Zu berücksichtigen ist dabei, dass im Betrieb die Filter pro Gerät in regelmässigen Intervallen gewartet werden müssen, was zum einen die Zugänglichkeit erfordert und zum anderen einen Arbeitsaufwand bedeutet.

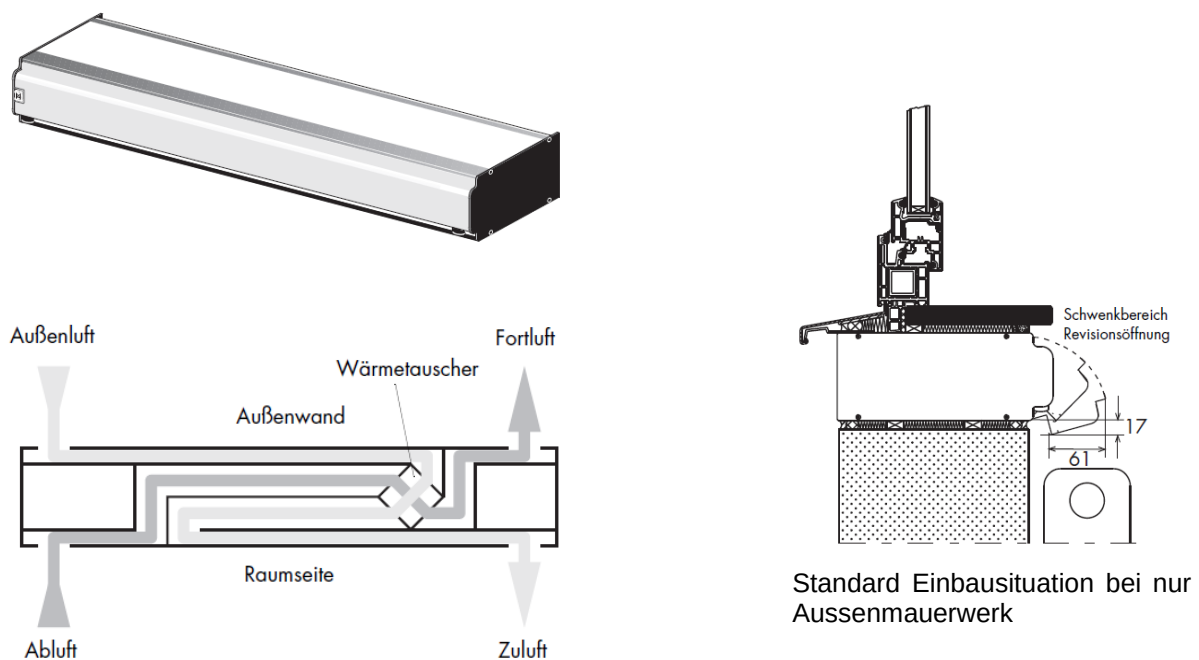


Abbildung 58: dezentrale Lüftung, Beispiel eines Lüftungsgerätes für den Einbau, Quelle: SIGENIA

Aufgrund des hohen Frischluftbedarfs in Klassenzimmern muss bei der Planung geklärt werden, ob das gewählte Gerät dies in allen Situationen leisten kann.

Abbildung 59 zeigt die schematische Darstellung dazu. Die Fragestellung ist, wie viel Raumtiefe mit einem vorgegebenen Frischluftbedarf bedient werden kann, anhand der in diesem Bereich zur Verfügung stehenden Fassadenfläche, resp. was ist das Potential einer „Fassadenfläche“ zur Versorgung des notwendigen Frischluftbedarfs.

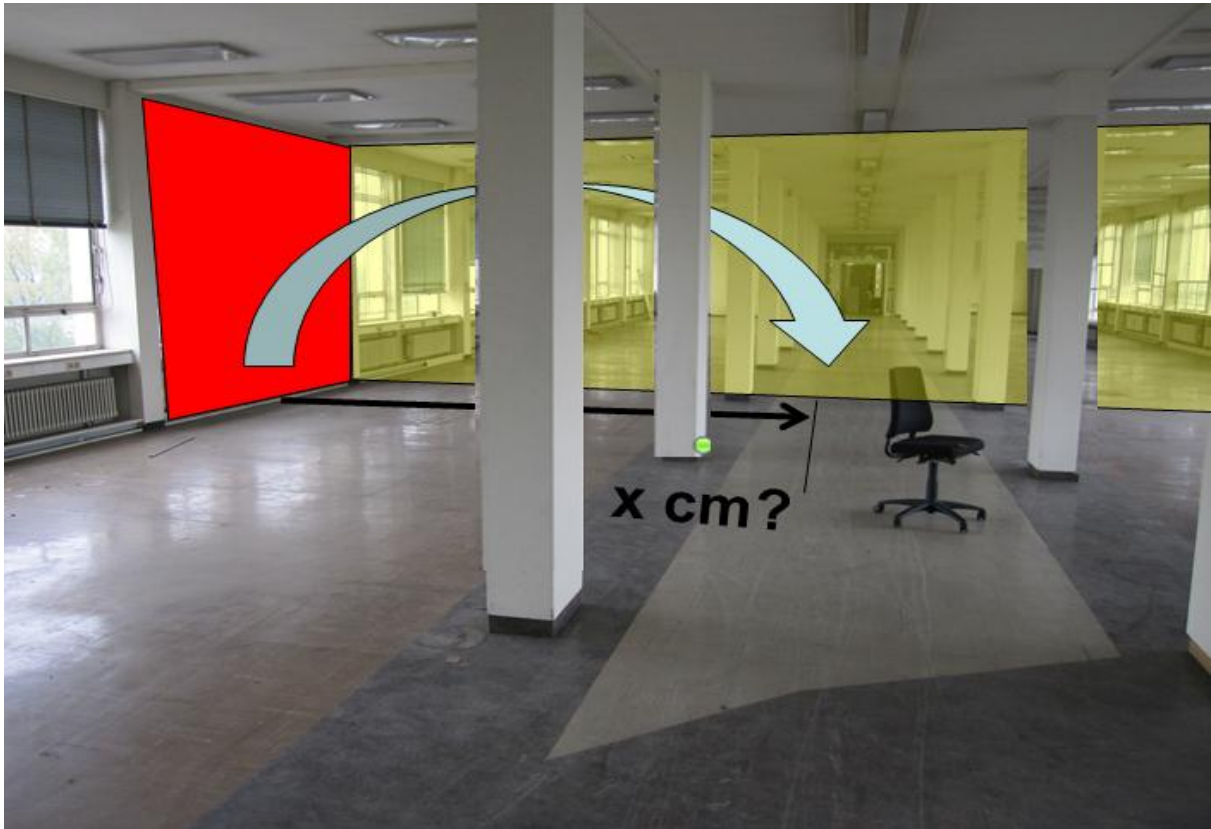


Abbildung 59: „Wurfweite“ der Frischluft aufgrund von zur Verfügung stehender Fassadenfläche

Mit diesen Grundüberlegungen können auch Zusammenhänge zwischen typologischen Kriterien und Konstruktionskriterien identifiziert werden. Für die Planung dieser vorfabrizierten Fassadenmodule gelten grundsätzlich die gleichen Vorgaben wie in Kapitel 3.4.

Vorteile	Nachteile
Einfache und flexible Reaktion auf wechselnde Belegungsdichten	Begrenzte lieferbare Frischluftmenge pro Gerät & damit grosse Anzahl Geräte
Geringe Schallemissionen bei Fassadenintegration möglich	Tendenziell höherer Wartungsaufwand (Filterwechsel)
Minimierte Technikfläche	Geringere Wärmerückgewinnung
Geringere Strombetriebskosten	Technologieanpassung nur begrenzt möglich

Tabelle 11: Kriterien für/gegen dezentrale Lüftung

1. Kriterien bestehende Fassade

Dezentrale, in der vorfabrizierten Fassade integrierte Lüftungsanlagen sind besonders für nichttragende (bestehende) Aussenwandkonstruktionen geeignet. Bei tragenden Aussenwänden sind sie hingegen bei horizontaler Verlegung nur bedingt möglich, denn dann schwächen sie und/oder verunmöglichen die bestehende vertikale Lastabtragung im tragenden Mauerwerk aufgrund der erforderlichen Schlitzung. Dies ist in der Regel beim Typ Lochfassade der Fall. Bei Bandfassaden (z.B. mit vorgehängten Beton- oder Metallelementen) oder Skelettfassaden (z.B. mit ausgefachten Leichtbaukonstruktionen) werden die vorfabrizierten Fassadenmodule gegen die bestehenden Bauteile ausgetauscht. Die Positionierung der dezentralen Geräte kann im Sturz- und/oder Brüstungsbereich

vorgesehen werden, wobei die Einbauhöhen und die Konstruktionsmerkmale der Aussenwand die limitierenden Kriterien darstellen (ähnlich Abbildung 50). Dieser Lüftungstyp kommt vorwiegend für Skelett- oder Bandfassaden mit vorgehängten oder ausgefachten Konstruktionen in Betracht (vgl. Fokustypen FT B1-B3 und FT S1-S3, Kapitel 3.2, siehe Abbildung 60 für Projektbeispiele).

In den Fallbeispielen sind Skelett- und Bandfassaden (mit z.B. Fensterabständen < 60 cm) hauptsächlich vor Unterrichtsräumen anzutreffen. Dort ist die vertikale Lüftungsleitungsführung für ein zentrales Lüftungssystem aus rein geometrischen Gründen schwierig bis gar nicht realisierbar.



Abbildung 60: Skelettfassaden am Beispiel der Fallbeispiele A02 (links - AEE INTEC), CH01 (mittig – CCTP) und CH08 (rechts – CCTP)

Ein dezentrales Lüftungssystem mit Geräten in den vorfabrizierten Modulen ist unter folgenden Bedingungen möglich:

- Sturz- oder Brüstungshöhe (H_s) > 15 cm (bei einer Gerätehöhe von 14 cm) für einzelne Geräte. Sturz- oder Brüstungshöhe > 30 cm (bei 2 X 14 cm Gesamthöhe) für zwei, übereinanderliegende Einzelraumlüftungsgeräte (mögliche Anordnungen siehe Abbildung 61).
- Fassadenlänge im Verhältnis zur Raumtiefe und zur Verfügung stehende Brüstungs- und Sturzflächen der Klassenzimmer reichen aus, um die notwendige Anzahl von Einzelraumlüftungsgeräte unterzubringen.

Diese Art der der Frischluftversorgung ist, unter den oben genannten Voraussetzungen, in der Regel für Standardklassenzimmer möglich.

2. (Lüftungs)leitungsverteilung

Eine Lüftungsleitungsverteilung, wie bei der zentralen Lüftung, ist in diesem Sinne beim dezentralen System nicht mehr Gegenstand einer Planung. Sollte die Ansteuerung der Geräte zentral über Kabel stattfinden, ist wohl aber diese Kabelführung zu planen. Beachtung ist bei dezentralen Lüftungsgeräten vor allem der Vermeidung eines Zuluft-Abluft-Kurzschlusses und den Schallemissionen zu schenken.

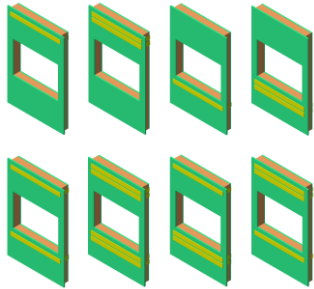
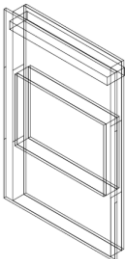
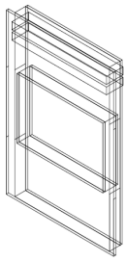
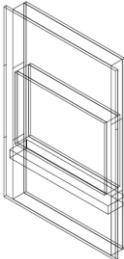
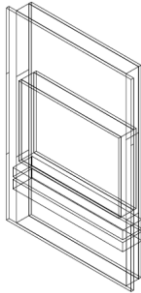
Die Planung der Frischluftversorgung bedarf zuerst der Klärung der Frage, wie viel Frischluft über ein Fassadenelement bereitgestellt werden kann beziehungsweise wie gross der Bedarf ist, der mit einem Fassadenelement bedient werden soll. Abbildung 59 stellt diese Fragestellung prinzipiell dar. Die Antwort lässt sich im Allgemeinen für jeden Fassadentyp über die Möglichkeit zur Platzierung von Lüftungsgeräten in den Fassadenmodulen ermitteln. Dabei müssen die freie Fensterfläche erhalten und die Zugänglichkeit der Geräte gewährleistet bleiben und Luftströmungskurzschlüsse innen und aussen vermieden werden. Je nach Gerätetyp besteht die Möglichkeit, mehrere Geräte in einem Fassadenelement zu platzieren, wodurch die lieferbare Frischluftmenge gesteigert werden kann. Abbildung 61 stellt dazu Varianten der Platzierung von Lüftungsgeräten im Sturz- oder Brüstungsbereich

dar, die abhängig von Sturz- und Brüstungshöhe der jeweiligen Fassade zum Einsatz kommen können. Eine typische Grössenordnung der lieferbaren Frischluftmenge, Elektrizitätsbedarf und Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (WRG) mit einem horizontal liegend in der Fassade integrierten Lüftungsgerät zeigt Tabelle 12:

Stufe	Frischlufstrom	Elektrische Leistungsaufnahme	Eigengeräusch L_{PA}	Wirkungsgrad WRG
1	45 m ³ /h	4-10 W	17 dB(A)	bis 62%
2	65 m ³ /h	10-21 W	34 dB(A)	
3	120 m ³ /h	20-40 W		

Tabelle 12: Beispielhafte technische Daten zu einem horizontal liegenden Fassadenlüftungsgerät [Siegenia]

Die Elementtypen für die dezentrale Lüftung sehen wie in Abbildung 61 aus. Natürlich sind auch hier weitere Beispiele denkbar, z.B. solche mit vertikalem Einbau des Lüftungsgerätes.

Zusammenfassung Module für vorwiegend Skelettfassade 	
 Element-Typ S1 1 Lüftungselement im Sturzbereich	 Element-Typ S2 2 Lüftungselemente im Sturzbereich
 Element-Typ S3 1 Lüftungselement im Brüstungsbereich	 Element-Typ S4 2 Lüftungselemente im Brüstungsbereich

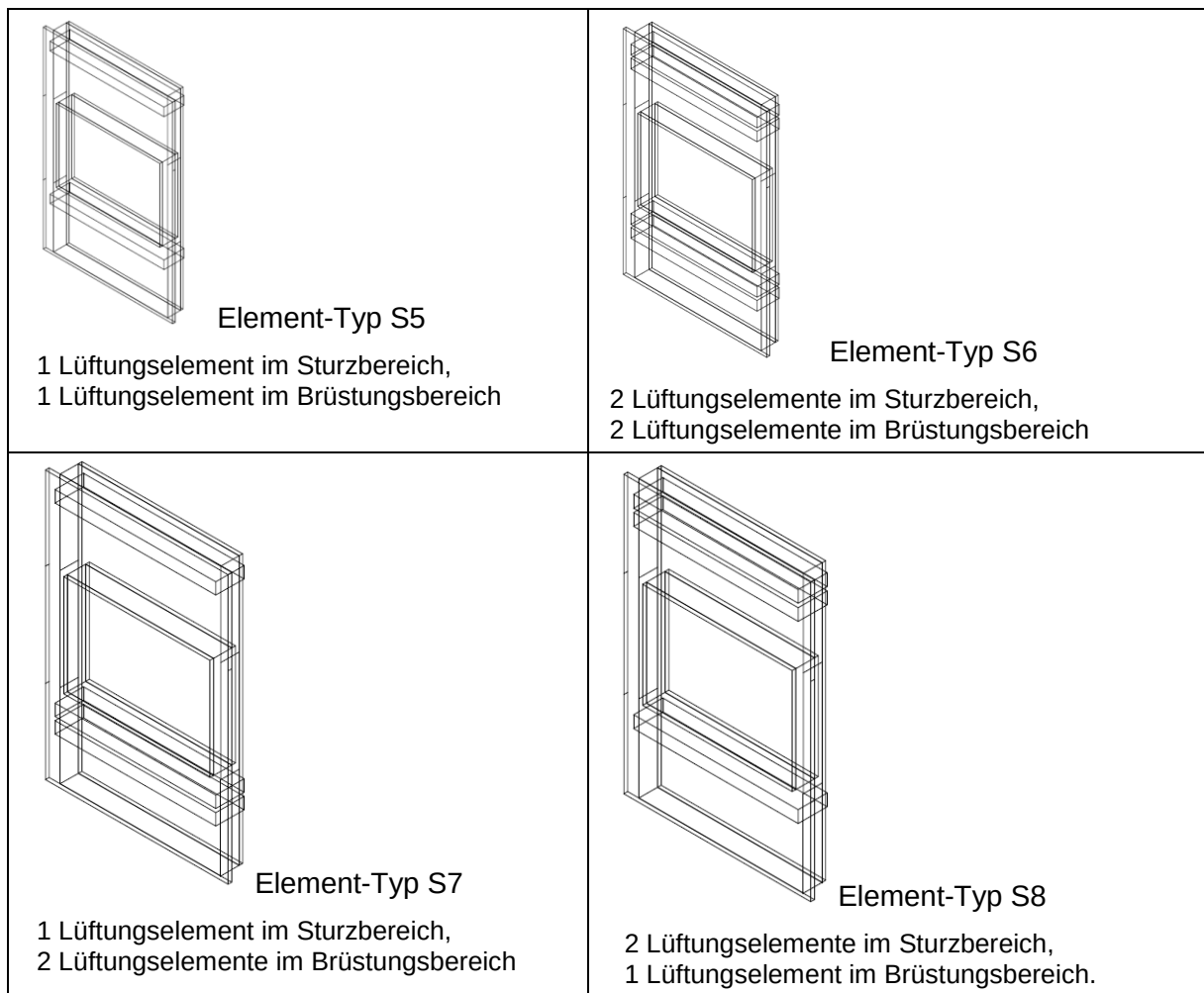


Abbildung 61: Varianten der Einbringung des dezentralen Lüftungsgerätes

3. Durchdringungen

Bei Ersatz der bestehenden Wand sind die Durchdringungen nur innerhalb des vorfabrizierten Elementes zu bewerkstelligen. Am günstigsten ist die Situation bei den Skelettfassaden, wo die gesamte bestehende Wandkonstruktion (Ausfachung) zwischen den Fassadenstützen und Decken vollständig durch ein neues, vorfabriziertes Element ersetzt wird (siehe Abbildung 51, Situation 3). Die Band- und vor allem die Lochfassade erfordern höheren Aufwand oder können sogar ungeeignet sein. Bei solchen Lösungsansätzen richten sich eventuelle Durchdringungen durch bestehende und bleibende Aussenwände nach der Wahl des Element-Typs S1-S8, resp. auch umgekehrt. Durchdringungen sind im Sturz- und/oder Brüstungsbereich und hängen mit den Einbauhöhen der Geräteboxen zusammen. Die Vorgehensweise ist ähnlich wie unter Durchdringungen in Kapitel 3.4 beschrieben. Der Unterschied ist, dass bei der dezentralen Lösung jedoch die Durchdringung horizontal mehrere Meter betragen kann (bei horizontalem Einbau des Gerätes) und dadurch die vertikale Lastabtragung von Gebäudeteilen gestört wird.

Besonders ungünstig sind „Verlängerungen“ in Richtung Innenraum durch bestehendes Mauerwerk und so entstehende tiefe Durchdringungen. Abbildung 62 zeigt eine Situation, wo die Tiefe der Gerätebox deutlich geringer ist, als der Abstand zwischen AK neues Fassadenmodul und IK alte Aussenwand. Diese Variante ist zwar nicht unmöglich, jedoch bedeutet sie zusätzlichen Aufwand für die Zuluft- und Abfuhr innerhalb des vorfabrizierten Fassadenmoduls und es muss besonders auf die Zugänglichkeit für die Luftfilterwartung geachtet werden. Besser ist ein Abbruch der bestehenden Wand, wenn dies statisch möglich ist.

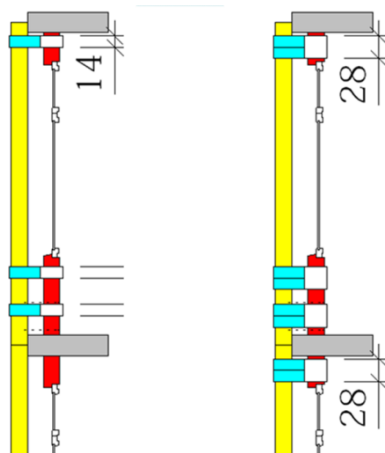


Abbildung 62: Ungünstige Durchdringungsbereiche für dezentrale Lüftung

4. Befestigung

Die Element-Typen S1 - S8 eignen sich auch vor allem für Skelettfassaden, weil sich dort in der Regel die Möglichkeit eines statisch unproblematischen Abstellens auf der Betondecke anbietet. Bei einspringenden Wänden (Abbildung 63) kann sogar eine geringfügige Raumerweiterung entstehen. Eine Befestigung an der Betonstirnseite oder mit Stahlwinkel ist auch denkbar.

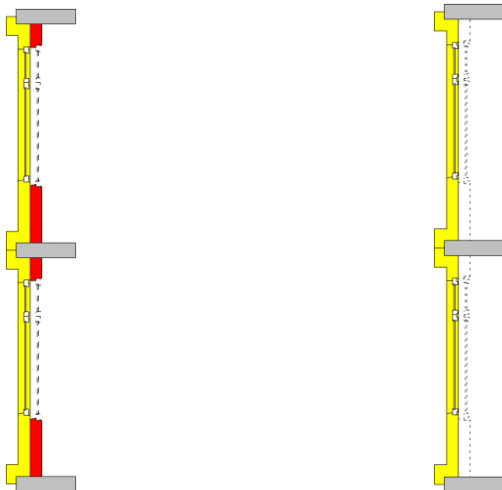


Abbildung 63: Statische Abstellung der Element-Typen S1-S8 und mögliche Raumerweiterung bei einspringenden Wänden

Bei dezentraler Lüftung entfällt während des Montageprozesses am Bau das Verbinden von Lüftungsleitungen. Ebenso die daraus möglichen resultierenden Ausführungsfehler wie z.B. Luftundichtigkeiten von Rohr zu Rohr. Ein weiterer Vorteil ist die einfach realisierbare, bedarfsgerechte Steuerung des Frischluftbedarfs, welche ohne Rückwirkungen auf einen hydraulischen Abgleich im Luftkanalnetz oder Abhängigkeiten von der Rohrnetzdimensionierung umgesetzt werden kann. Der Nachteil ist der höhere Wartungsaufwand bei dem Wechsel der Filter und der geringere Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung.

5. Modulbau

Die Vorgehensweise für die Werkplanung der Element-Typen S1 - S8 ist ähnlich wie in Kapitel 3.4 beschrieben. Höhere Aufmerksamkeit ist der vertikalen Lastabtragung innerhalb des Moduls zu widmen, da eine Schwächung durch die nahezu vollständige Breite und Tiefe des Moduls durch ein horizontal eingebautes Lüftungsgerät entsteht. In der Abbildung 54 entspricht dies anhand des Element-Typs L4, B4 aufgezeigt, stellvertretend den Bauteilnummern 6 und 7, ähnlich dem Problem mit horizontaler Lüftungsleitungsführung. Innerhalb der Bauteilnummer 4 könnte hier das Lüftungsgerät eingebaut werden. Entgegenwirken kann man dem, indem die Breite z.B. in zwei Teile (oder mehrere) aufgeteilt wird und so mittig (oder mehrmals) wieder eine vertikale Lastabtragung/Aussteifungsmöglichkeit eingeführt wird. Für die statische Planung des Gesamtmoduls ist auch die Torsionssteifigkeit zu beachten. Die Variante mit einem vertikalen Einbau des Lüftungsgerätes ist aus statischen Gründen einfacher. Dies werden neben oder eventuell zwischen den Fenstern im Modul positioniert. Dadurch wird jedoch auch der Fensteranteil etwas kleiner.

3.6. Automatische Fensterlüftung

Die automatische Fensterlüftung stellt eine Möglichkeit dar, an Orten mit guter Aussenluftqualität und Umgebungsbedingungen, wie z.B. eher in ländlichen Gegenden (siehe Beispiel Abbildung 65, [20]) aber selten in Innenstädten, während eines Grossteils des Jahres eine natürliche Frischluftzufuhr über Fensteröffnungen mit geringem Betriebsaufwand sicherzustellen. Weiterhin kann sie, kombiniert mit einer mechanischen Lüftung, sei es eine Abluftanlage oder eine Komfort-Lüftungsanlage, zu einem ganzjährigen Lösungskonzept für die Frischluftzufuhr sein.

Die automatische Fensterlüftung kann auch, jedoch nur eingeschränkt, als vorfabriziertes Fassadenmodul mit „dezentralem Lüftungssystem“ gesehen werden. Sie wird schliesslich ähnlich als vorfabriziertes Fassadenmodul mit eingebauten Fenstern und deren Steuerung (Elektrokabel, Motoren, ev. Sensoren usw.) produziert. Gegenüber der zentralen Lüftungsleitungsplanung ist die Vereinfachung der Planung aus Sicht des kritischen Weges deutlich grösser, weil keine Lüftungsleitungen mit grossen Querschnitten oder dezentrale Lüftungsgeräte die Modulkonstruktion beeinflussen und sowohl die Leitungsführung der Elektrokabel als auch der Einbau der Fenster in vorfabrizierte Module kein Problem darstellt (siehe dazu Kapitel „2.2 Das Basismodul F4.1“ in [4]). In solchen Modulen können die zur Stromleitungsführung genutzten Rohre wesentlich einfacher integriert werden.

Grundsätzlich funktioniert die automatische Fensterlüftung ebenso wie die manuelle Fensterlüftung über die Öffnung von Fenstern und den erzeugten Luftaustausch durch natürliche Antriebskräfte wie Luftdruckdifferenzen infolge von Temperaturdifferenzen oder Wind. Das Öffnen und Schliessen der Fenster erfolgt jedoch automatisch über Antriebe, welche abhängig von Luftqualitäts- und Temperatur-Sensoren angesteuert werden. Es gelten dieselben Einschränkungen durch die Abhängigkeit von den äusseren Luftbedingungen wie für eine manuelle Lüftung, allerdings entfällt der manuelle Betriebsaufwand und die Zuverlässigkeit der Frischluftversorgung ist meist deutlich höher. Dementsprechend kann eine automatische Fensterlüftung als optimal betriebene manuelle Fensterlüftung gesehen werden und führt zu einer fast ganzjährig guten Raumluftqualität. Allerdings kann die Frischluftzufuhr vor allem an windärmeren Standorten nicht garantiert werden. Die erreichten Raumluftqualitäten sind stark von der jeweiligen Situation abhängig, beispielsweise davon, ob ausreichend grosse, öffnbare Fensterflächen vorhanden sind, ob gegebenenfalls im Raum gegenüberliegende Öffnungen die Durchströmung unterstützen können oder ob die thermische Behaglichkeit im Raum durch eine ausreichend grosse Durchmischungszone hinter der Fensteröffnung gewährleistet werden kann.

Anhand der folgenden drei Beispiele ist das Prinzip der automatischen Fensterlüftungen in Schulbauten mit ihren Eigenschaften erklärt:

- automatische Fensterlüftung ohne zusätzliche mechanische Unterstützung im Schulhaus Untermoos in Zürich, CH
- automatische Fensterlüftung mit unterstützendem Abluftventilator im Kindergarten Værløse in Kopenhagen, DK
- automatische Fensterlüftung als Unterstützung einer mechanischen Komfortlüftung im Kindergarten Solhuset in Hørsholm, DK

Automatische Fensterlüftung im Schulhaus Untermoos (CH)

Das Projekt „CO₂-gesteuerte Lüftungen in Schulen – Energieeinsparungen durch CO₂-gesteuerte Lüftungen“ [12] setzt sich generell mit Energieeinsparungen durch CO₂-gesteuerte Lüftungen in Schulgebäuden auseinander. Dabei werden sowohl die manuelle Fensterlüftung, die automatische Fensterlüftung als auch die CO₂-gesteuerte mechanische Lüftung betrachtet. Hier soll vor allem auf die Erkenntnisse in Bezug auf die automatische Fensterlüftung ohne mechanische Unterstützung hingewiesen werden, wie sie in einem Beitrag zum 16. brenet-Statusseminar [18] zusammengefasst wurden.



Abbildung 64: Schulhaus Untermoos in Zürich, CH – Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung
(links: Südost-Ansicht, rechts: automatisch geöffnete Fenster während dem Unterricht)

Die Autoren von [12] und [18] kommen zum Schluss, basierend auf theoretischen Betrachtungen und Luftqualitätsmessungen, dass mit einer manuellen Fensterlüftung zwar eine akzeptable Luftqualität erreicht werden kann; dies aber nur wenn äusserst diszipliniert und häufig (ca. alle 10-15 Minuten) gelüftet wird. Dies kann nach der Einschätzung der Autoren nur in Schulgebäuden umgesetzt werden, in denen Lehrkräfte einzelnen Klassenräumen fest zugeteilt sind, wie oftmals in Primarschulen, und die Schüler in die Organisation der Handlüftung mit eingebunden werden. Eine CO₂-Ampel kann dabei eine Unterstützung bieten. Allerdings ist dies nur eine „kann funktionieren“-Option, womit bei weitem nicht erreicht wird, dass alle solchen Schulräume eine akzeptable Luftqualität erreichen. Im betrachteten Schulgebäude war dies nur in einem untersuchten Schulraum der Fall. Unter anderem führt die eingeschränkte thermische Behaglichkeit bei kalter Aussenluft zu häufig zu nicht ausreichenden Lüftungsraten. In Schulzimmern ohne feste Zuordnung einer Lehrperson wird die manuelle Fensterlüftung aufgrund der fehlenden, festen Zuständigkeit als nicht durchführbar erachtet.

Die Variante automatische Fensterlüftung wurde im untersuchten Schulgebäude umgesetzt, weil sie kostengünstiger ist als eine mechanische Lüftungsanlage. Die automatisierte Fensterlüftung führte dabei neben einer deutlich verbesserten Raumluftqualität zu einem 5-10% geringeren Heizenergieverbrauch pro Schulzimmer. Im Sommerbetrieb stellte sich die Nachtauskühlung als grösster Vorteil der automatisierten Fensterlüftung heraus. Die Lebenszykluskosten für eine automatisierte Fensterlüftung wurden in diesem Projekt mit 1500 – 2000 CHF/a pro Schulzimmer ermittelt. Mit diesem Mehraufwand kann eine Raumluftqualität erreicht werden, welche wesentlich näher an die notwendigen Anforderungen an die Raumluftqualität heranreicht als bei manuell gelüfteten Klassenzimmern.

Automatische Fensterlüftung mit Abluftventilator im Kindergarten Værløse (DK)

Innerhalb des Projekttreffens in Kopenhagen DK fand eine Besichtigung verschiedener Schulgebäude statt. Als Beispiel für eine automatische Fensterlüftung mit unterstützendem Abluftventilator wurde ein eingeschossiger Kindergarten in Værløse DK besucht. Bei diesem verfügen die Klassenräume über einseitige Fensterbänder mit öffnenbaren Oberlichtern. Der Kindergarten liegt am Rand der Gemeinde, umgeben von einer hauptsächlich von Einfamilienhäusern geprägten Siedlung. Durch die gute Aussenluftqualität an dieser Lage ist der Kindergarten für eine natürliche Lüftung geeignet. Die verhältnismässig hohe mittlere Windgeschwindigkeit in Dänemark, respektive vor Ort, ist ebenso eine günstige Randbedingung für eine natürliche Fensterlüftung. Allerdings sind die öffnenbaren Fensterflächen eher klein und die Klassenräume verfügen nur über einseitige Öffnungen. Mit dieser ungünstigen Ausgangslage kann eine kontinuierliche Frischluftzufuhr in den bestehenden Klassenzimmern nicht gewährleistet werden. Daher wurden neben der automatisierten Fensteröffnung zusätzliche Abluftventilatoren in die Decke jedes Klassenzimmers integriert, welche den Frischlufttransport bei Bedarf unterstützen. Die Regelung öffnet/schliesst also zuerst die Fenster abhängig von der Raumluftqualität und schaltet, wenn die Raumluftqualität sich durch das Öffnen der Fenster nicht ausreichend verbessert, zusätzlich den Ventilator ein [19]. Somit kann auch bei einer ungünstigen Anordnung der Fensteröffnungen, aber guter Aussenluftqualität eine Frischluftzufuhr bei gegebenenfalls eingeschränkter thermischer Behaglichkeit gewährleistet werden.



Abbildung 65: Kindergarten Værløse, DK – Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung und unterstützendem Abluftventilator (siehe Pfeile im Bild)

Automatische Fensterlüftung im Kindergarten Solhuset in Hørsholm (DK)

Der Kindergarten mit Tagesbetreuungszentrum Solhuset in Hørsholm DK [20] ist ein neu erbautes Plusenergiegebäude mit hohen Nachhaltigkeitsansprüchen, sowohl in der energetischen als auch in der sozialen und wirtschaftlichen Dimension. Dazu gehört auch die Zielsetzung, eine vorbildliche Raumluftqualität als Voraussetzung für ein gesundes und lernförderndes Umfeld, bei geringem Energieeinsatz, bereit zu stellen. Der Neubau bringt den Vorteil, dass von der Raumgestaltung und Anordnung der Fenster günstige Voraussetzungen für Tageslichteinfall und natürliche Frischluftzufuhr geplant und umgesetzt werden konnten. Hohe Räume mit öffnenbaren Oberlichtern unterstützen die natürliche Luftzirkulation und erweisen sich weiterhin als günstig für die Durchmischung der Luft und damit zur Verhinderung von thermischen Unbehaglichkeiten. So kann auch mit natürlicher Lüftung ein hoher Anspruch an die thermische Behaglichkeit umgesetzt werden. Das Solhuset ist zusätzlich zur automatischen Fensterlüftung mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit Zu- & Abluft sowie einer Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die automatische Fensterlüftung wird hier vorwiegend zur Reduktion des Energieverbrauchs eingesetzt und weiterhin zur Schaffung einer Verbindung zwischen Innenraum und Aussenraum. Die mechanische Lüftungsanlage dient der Sicherstellung der Raumluftqualität und Behaglichkeit, auch unter ungünstigen Aussenbedingungen. Mit dieser Lösungsvariante kann die bestmögliche Raumluftqualität und Behaglichkeit bei reduziertem Energieverbrauch, aber erhöhtem Anlagenaufwand erreicht werden.



Abbildung 66: Kindergarten mit Tagesbetreuungszentrum Solhuset in Hørsholm, DK - Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung und mechanischer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

3.7. Fensterlüftung manuell

Die manuelle Fensterlüftung ist eine immer noch häufig vorzufindende Situation in Klassenzimmern, vor allem bei bestehenden Gebäuden. Dabei wird die benötigte Frischluft einzig über zu von Hand öffnende Fenster ausgetauscht. Der Antrieb zum Luftaustausch entsteht aus den natürlichen, entweder thermische, windbedingten Antriebskräften respektive Luftdruckdifferenzen. Das Öffnen der Fenster erfolgt manuell entweder nach mehr oder minder gut etablierten Mustern (z.B. „Immer in der Pause“) oder nach der von den Personen im Raum wahrgenommenen Luftqualität.

Vielfältige Untersuchungen haben schon gezeigt (beispielsweise im Schulhaus Untermoos in Zürich [21] oder in Schulgebäuden im Kanton Aargau [22]), dass unter normalen Umständen mit manueller Fensterlüftung keine kontinuierliche, ausreichend gute Luftqualität erreicht wird. Bei geschlossenen Fenstern werden bereits nach 10-15 Minuten überhöhte CO₂-Konzentrationen erreicht [21], sodass gelüftet werden müsste. Ein solch häufiges Öffnen der Fenster ist machbar, erzeugt aber einen relativ hohen manuellen Aufwand. Aufgrund der eingeschränkten Wirkung und dem eher hohen manuellen Aufwand im Betrieb muss eine manuelle Fensterlüftung als nicht ausreichendes Konzept für die Lüftung von neugebauten Unterrichtsräumen gelten. Für bestehende Situationen muss ein bestmöglicher Betrieb angestrebt werden.

Die Wirkung von gekippter oder ganz geöffneter Fensteröffnung, ist grob wie folgt:

- Fenster kippen
geringerer Luftaustausch, der eine längere bis kontinuierliche Öffnungszeit erfordert und oftmals nur eine unzureichende Frischluftzufuhr gewährleistet und darüber hinaus im Winter zu erhöhten Wärmeverlusten führt
- Fenster ganz öffnen / Stosslüftung (z.B. Schwingflügel)
schnellerer Luftaustausch, der zu kurzfristigen Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit führen kann (z.B. Luftzug oder Kaltluftabfall) dafür aber nur eine kurze Öffnungszeit erfordert (ca. 5-10 Minuten)

Berücksichtigt man bei der oben beschriebenen Raumluftsituation die Erneuerungszyklen von Gebäuden, insbesondere diejenigen von nicht profitorientierten Haushaltsbetrieben, so sind für die entstehenden Übergangszeiten bis zu einer grundlegenden Verbesserung der Raumluf-Situation Hilfsmassnahmen erforderlich.

Da in dieser Arbeit die energetische Verbesserung der Gebäudehülle und die grundlegende Verbesserung der Raumlufqualität mit automatisierter Frischluftzufuhr im Fokus steht, soll an dieser Stelle nur auf mögliche und als praktikabel erachtete Umgangsweisen hingewiesen werden.

Generell erweisen sich aktiv kommunizierte und partizipativ umgesetzte Massnahmen als nachhaltiger in der Zielerreichung. Daher wäre ein erster Schritt die Bewusstmachung und Kommunikation des Frischluftbedarfs sowie von Vorschlägen wie zumindest eine akzeptable Raumlufqualität mit manueller Fensterlüftung erreicht werden kann. Dabei wird mit dieser Aktivität der bestmögliche Umgang der bestehenden Situation angestrebt. Es steht die Frage im Vordergrund, wie die auch jetzt schon praktizierten, manuellen Fensteröffnungen in Zukunft zuverlässig, bedarfsangemessen und praktikabel umgesetzt werden können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Luftschadstoffe wie beispielsweise CO₂ oder VOC aus menschlichen Emissionen meist nur sehr schlecht wahrgenommen werden beziehungsweise eine schleichende Gewöhnung die Wahrnehmung verfälscht.

Bei der Wahrnehmung der Raumlufthqualität unterstützen sogenannte Luftqualitäts-Ampeln. Sie enthalten meist einen CO₂-Sensor, dessen Messwert mit Hilfe von Vergleichswerten in Bereiche eingeteilt wird, zum Beispiel:

- < 1000 ppm_{CO2} = grün = Luftqualität gut;
- 1000 – 2000 ppm_{CO2} = gelb = Luftqualität mässig, lüften empfohlen;
- > 2000 ppm_{CO2} = rot = Luftqualität schlecht, lüften dringend notwendig

Diese Unterteilung kann auch feiner untergliedert sein oder beispielsweise mehrere Warnstufen enthalten oder den Wechsel von einem Bereich zum nächsten mit einem akustischen Signal ankündigen. Einheitlich in der Anwendung ist, dass Schüler oder Lehrer mit diesem Hilfsmittel den ansonsten eher schwierig wahrzunehmenden Zustand der Luftqualität erkennen können und diesem angepasst den Raum belüften.

Im Rahmen des SchoolVentCool-Projektes wird von den dänischen Projektpartnern der Einsatz von CO₂-Sensoren mit optischer Luftqualitätsbewertung als Erneuerungslösung zur Verbesserung der Luftqualität in natürlich belüfteten Klassenräumen untersucht [23]. Demnach wird der CO₂-Gehalt der Raumlufth bei Nutzung einer Luftqualitätsampel und entsprechender Lüftung reduziert. Fenster werden häufiger geöffnet, was im Winter aber den Heizwärmebezug erhöht. Die einseitige Fokussierung auf das Energiesparen in Zusammenhang mit zu niedrigen Unterhaltsbudgets führt oftmals zu Lösungen, die als Konsequenz zu einer schlechten Raumlufthqualität führen. Eine Energieeinsparung darf an dieser Stelle nicht mit einer schlechten Raumlufthqualität erkaufte werden. Nicht zuletzt deswegen, weil die Schulkinder zum Aufenthalt in den Schulräumen gezwungen sind. Eine Raumkühlung reduziert die Häufigkeit der Fensteröffnungen ohne Luftqualitätsampel [23]. In Übereinstimmung mit weiteren älteren Untersuchungsergebnissen bestätigt dies, dass thermische Unbehaglichkeiten ein stärkerer Antriebsfaktor zum Öffnen der Fenster sind, als mangelnde Luftqualität. Von den teilnehmenden Schulkindern wurde die mit der Luftqualitätsampel unterstützte manuelle Fensterlüftung positiv bewertet. Eine manuelle Fensterlüftung mit Luftqualitätsampel führt weiterhin zu einer bewussteren Wahrnehmung des Frischluftbedarfs. Eine vollständig automatisiert bereitgestellte Lernumgebung kann im Gegenzug dazu zu einer nicht mehr vorhandenen Wahrnehmung dieser Qualität führen.

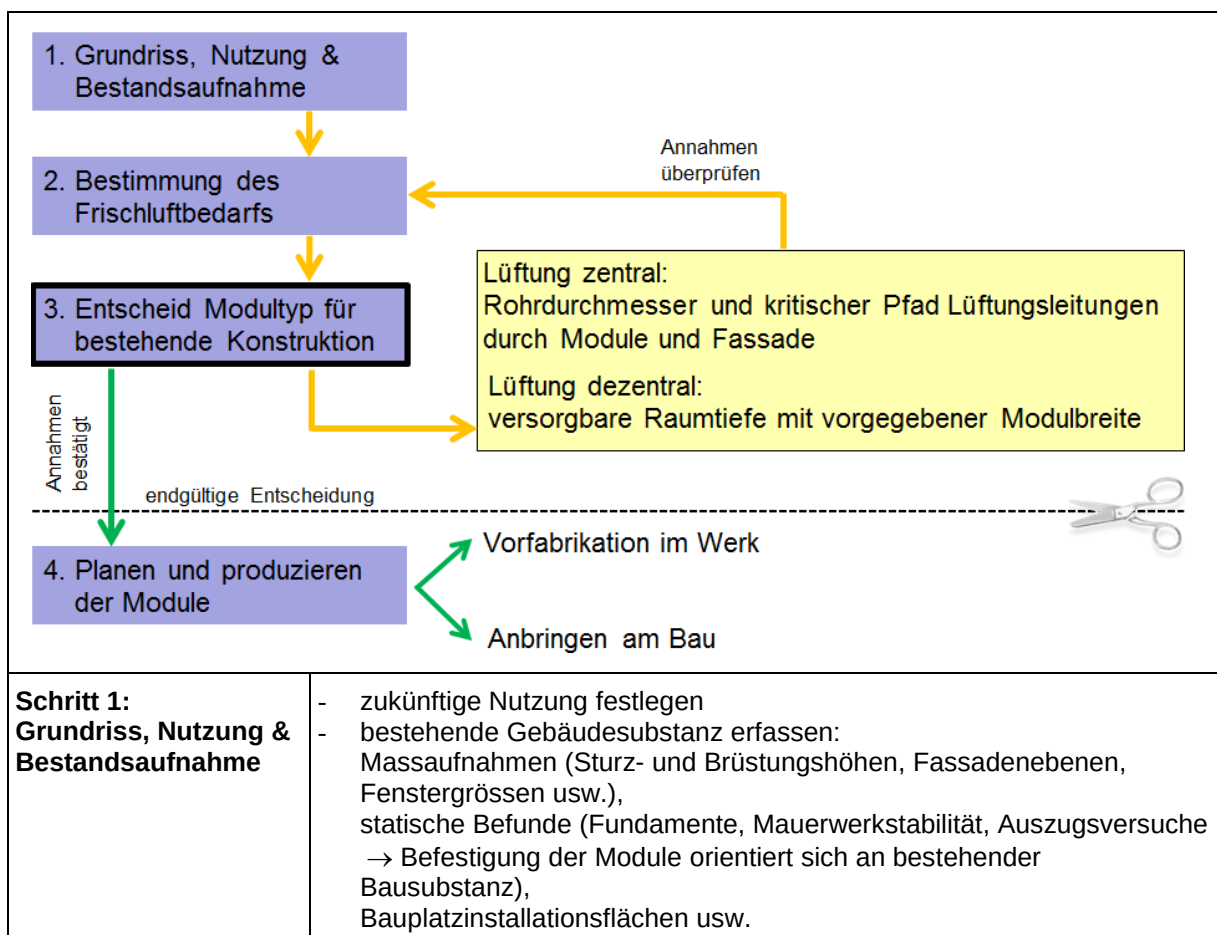
Die Anwendung von Luftqualitätsampeln kann die Raumlufthqualität bei manueller Fensterlüftung verbessern. Dauerhaft wird sie im Gegensatz zur kontrollierten Frischluftzufuhr nur als Not- oder Übergangslösung erachtet.

3.8. Leitlinie für die Planung vorfabrizierter Fassadenmodule mit integrierter Lüftung

Dieses Kapitel beschreibt im Überblick, wie die Planung erfolgen kann. Der oben beschriebene Inhalt ist relativ komplex und spricht in seinen Detailierungsgraden teilweise nur die jeweils verantwortlichen Akteure wie Bauherr, Architekt, Planer, Unternehmer und Behörden einzeln an. Die Leitlinie dient als Grundlage zum gegenseitigen Verständnis und Förderung von Informationsaustausch, der intensiv und früh stattfinden muss. Eine Koordination von Planern schon in der Vorprojektphase (insbesondere Lüftungsplaner) und Unternehmern (Fassadenmodulbauer) ist von zentraler Bedeutung.

Um in der Praxis den Einstieg zu finden, wird vereinfacht der übergeordnete Ablauf dargestellt. Es werden nun zusammenfassend die möglichen Lösungswege aufgezeigt, die bei zu erneuernden Schulgebäuden aufgrund von Typologie und Wahl des Lüftungssystems einen Planungsstart vereinfachen. Hier wird der Lösungsansatz mit von aussen angebrachten Fassadenmodulen beschrieben. Bei einer ersten Machbarkeitsüberprüfung betreffend energetische Erneuerung inklusive Lüftung sind natürlich auch andere Systeme wie die innenliegende Lüftungsverteilung oder Innenwärmedämmung mögliche Lösungsansätze.

Der in der Abbildung 67 erläuterte Ablauf zeigt, wie das Lösungskonzept mit vorfabrizierten Fassadenmodulen inklusive Lüftung, in drei Schritten ermittelt wird. Dies ist die Basis für die Auswahl eines vorfabrizierten Elementtypstyps. Erst wenn diese Wahl getroffen und anhand einer Überprüfung bestätigt ist, erfolgt die Werkplanung und Produktion des Fassadensystems selber. Der vierte Schritt darf erst begonnen werden, wenn die ersten drei Schritte vollständig abgeschlossen und überprüft sind.



	- Auswirkungen durch eventuelle Grundrissänderungen einbeziehen - Platzierungsmöglichkeiten haustechnischer Anlagen wie z.B. Lüftungszentrale (Dach, Keller) usw. - allgemeine Vorgehensweise gemäss Checkliste: Tabelle 8: Anhaltspunkte für Planung und Konstruktion - weitere Abklärungen betreffend Wahl Lüftungssystem wie z.B. Wartung, Heiz- Kühlkonzepte, Regelungen, Brandschutz, Kosten
Schritt 2: Bestimmung des Frischlufthbedarfs	- Bestimmung des Frischluftbedarfs für Klassenzimmer und ähnliche Räume (siehe auch Kapitel 2.2.3) - gesonderte Betrachtung anderer Räume mit Frischluftbedarf, wie z.B. Labore, Turnhallen, usw. - detailliertere Angaben zur Einbringung von Lüftungstechnik siehe [40]
Schritt 3: Entscheid Elementtyp für bestehende Konstruktion	- Fassadentyp des bestehenden Gebäudes identifizieren, siehe dazu Abbildung 23: Typische Fassaden von Schulgebäuden (Lochfassade, Skelettfassade und Bandfassade) - Auswahl des Lüftungssystems: zentrale oder dezentrale Lüftung - Auswahl des Elementtyps als Ausgangslage für die Werkplanung in Schritt 4: Elementtypen L1, B1 – L6, B6 für zentrale Lüftung (siehe Abbildung 47) / Elementtypen S1 – S8 für dezentrale Lüftung (siehe Abbildung 61) - Vordimensionierung und Grobplanung des Lüftungskonzeptes und konstruktive Vorprojektierung mit den gewählten Elementtypen, (z.B. Sturzhöhen, Durchdringung Leitungen (Abbildung 50 ff), Einbau lüftungstechnischer Komponenten, Fenster, Storen, eventuell Photovoltaikmodule, usw.) - Überprüfung des gewählten Konzeptes mit den getroffenen Annahmen: sollte z.B. der Frischluftbedarf aufgrund des gewählten Lüftungssystems oder aufgrund anderer Anforderungen nicht möglich sein, kann nicht zu Schritt 4 gegangen werden. Dann muss Schritt 1 und 2 überprüft und angepasst und wiederum Schritt 3 mit neuen Randbedingungen durchlaufen werden. Sollte auch nach mehreren Durchläufen eine fassadenintegrierte Lüftung nicht realisierbar sein, bleiben als Lösungsmöglichkeiten nur noch die klassische innenliegende Luftverteilung oder die unter Kapitel 3.6 beschriebene automatisierte Fensterlüftung. Bei diesen vorfabrizierten Modulen entfallen dann die besonderen Anforderungen durch die fassadenintegrierte Lüftung. Diese Module können ähnlich geplant werden wie dies für Mehrfamilienhäuser der Fall ist [4]. Erst bei einer erfolgreichen Bestimmung und Grobplanung des Element- und Lüftungskonzeptes, kann zu Schritt 4 übergegangen werden. Ab diesem Punkt ist eine nachträgliche Änderung des Konzeptes mit hohem Aufwand verbunden oder sogar nicht mehr möglich.
Schritt 4: Planen und produzieren der Module	- Werkplanung der Gebäudehülle basierend auf dem gewählten Elementtyp, auf der Bestandsaufnahme von präzisen Massen und den statischen Rahmenbedingungen.

Abbildung 67: Gesamtplanungsablauf für den Einsatz von vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftung

Abbildung 68 verdeutlicht zusätzlich die möglichen Lösungswege in Schritt 3 aus denen einer ausgewählt werden muss. Der erste Schritt ist die Identifikation des Fassadentyps. Diese repräsentieren unterschiedliche Aussenwandkonstruktionen und erlauben Rückschlüsse zur Lüftungsverteilung, der Austauschbarkeit der bestehenden Bausubstanz und der Lastabtragung vorfabrizierter Fassadenmodule.

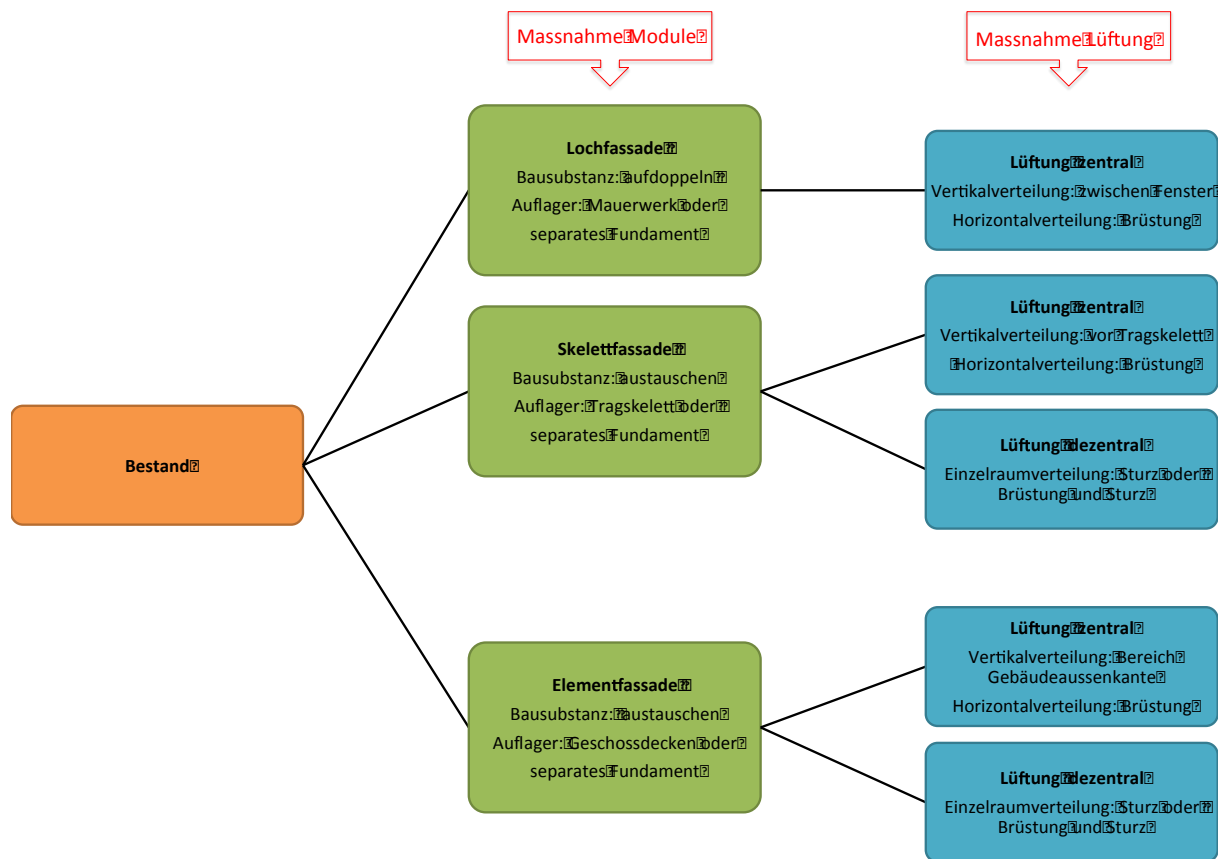


Abbildung 68: Erste Einschätzung des Gebäudebestands für die Erneuerung mit vorfabrizierten Fassadenmodulen

Abbildung 69 zeigt beispielhaft einen zusammenfassenden Auszug der wichtigsten konstruktiven Merkmale und Hinweise zu Lüftungslösungen, welcher als Arbeitsblatt im Planungsverfahren zwecks besseren Überblicks geführt werden sollte. So sind auch Entscheidungsabläufe reproduzierbar.

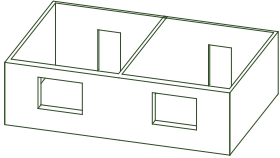
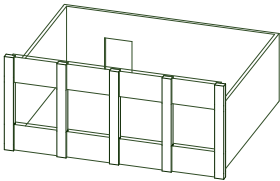
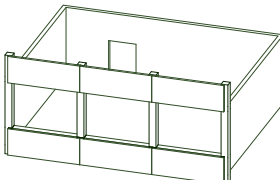
Fassadentyp	Konstruktion		Lüftung	
	Austauschbarkeit Bausubstanz	Lastabtragung	System	Verteilung
Lochfassade , typischer Massivbau 	- Aufdoppelung vor massiver Aussenwand (Bausubstanz bleibt bis auf die Fenster erhalten)	- Massive Aussenwand (z.B. Konsolen) - separates Fundament vor der Fassade (z.B. Streifenfundament)	Zentrale Lüftung: - In Abhängigkeit vertikaler Steigzonen möglich	Zentrale Lüftung: - Vertikale Verteilung zwischen Fenstern, an Stirnseiten oder über Gebäudeecken - Horizontale Verteilung im Brüstungsbereich(min. 60cm breite opake Fassadenfläche)
Skelettfassade , typischer Skellett- oder Massivbau mit Ausfachungen 	- Ersatz der Ausfachungen (Brüstung, Fenster und Sturz) - Aufdoppelung vor Fassadenskelett (grosse Veränderung im Erscheinungsbild)	- Geschossdecken/ Fassadenskelett (punktuelle Verankerungen) - Separates Fundament vor der Fassade (z.B. Streifenfundament)	Dezentrale Lüftung: - In Abhängigkeit der Brüstungs- und Sturzhöhen möglich Zentrale Lüftung: - In Abhängigkeit vertikaler Steigzonen möglich (nur bei Aufdoppelung vor Fassadenskelett möglich)	Dezentrale Lüftung: - Sturzhöhe min. 15 cm und/ oder Brüstungshöhe min. 60 cm Zentrale Lüftung: - Vertikale Verteilung zwischen Fenstern, an Stirnseiten oder über Gebäudeecken - Horizontale Verteilung im Brüstungsbereich(min. 60cm breite opake Fassadenfläche)
Bandfassade , typischer Skelettbau mit vorgehängten Elementen 	- Vorgehängte Fassade (z.B. Betonelemente) - Nichttragende Ausfachungen (Brüstung und Sturz)	- Geschossdecken/ vertikale Tragstruktur (punktuelle Verankerungen) - Separates Fundament vor der Fassade (z.B. Streifenfundament)	Dezentrale Lüftung: - In Abhängigkeit der Brüstungs- und Sturzhöhen möglich Zentrale Lüftung: - In Abhängigkeit vertikaler Steigzonen möglich	Dezentrale Lüftung: - Sturzhöhe min. 15 cm und/ oder Brüstungshöhe min. 60 cm Zentrale Lüftung: - Vertikale Verteilung zwischen Fenstern, an Stirnseiten oder über Gebäudeecken - Horizontale Verteilung im Brüstungsbereich(min. 60cm breite opake Fassadenfläche)

Abbildung 69: Der Fassadentyp als Grundlage für die Massnahmen der vorfabrizierten Fassadenerneuerung

3.9. Demonstrationsprojekt Krummbach

Das Projekt Krummbach ist ein kleineres, zweigeschossiges Schulgebäude mit einem angebauten Wohntrakt. Es wurde mehrere Jahre nicht mehr benutzt und nun vollumfänglich erneuert. Der Bauherr wollte von Anfang an hohe Standards erreichen, nämlich MINERGIE-P, MINERGIE-A und MINERGIE ECO.



Abbildung 70: Ansicht des Schul-/Wohngebäudes zu Beginn der Erneuerung und kurz vor Fertigstellung

Dieses Demonstrationsprojekt eignet sich besonders gut wegen der praxisnahen Wirkungsbeobachtung. Planung und Ausführung konnten in der Praxis durch das CCEM-Team [4] begleitet werden. Die vorfabrizierten Fassadenmodule mit integrierter Lüftungsleitung decken sowohl den Wohnungsbau (CCEM-Nachhaltige Wohnbaurerneuerung) als auch den Schulgebäudebau (SchoolVentCool) gleichzeitig ab. Das Projekt wurde vom BFE finanziell unterstützt [BFE-Projekt SI/500648-01].

Das zweistöckige Gebäude mit insgesamt 572 m² Energiebezugsfläche besteht aus zwei miteinander verbundenen Trakten, einem Wohn- und einem Schultrakt. Im Jahre 2010 wurde der Architektenentwurf gestartet. Im Februar 2011 ist die ausführende Firma (Renggli AG) durch den Bauherrn bestimmt worden. Es war zu Beginn keine mechanische Lüftung vorgesehen. Die im Frühjahr 2011 zustande gekommene Kontaktaufnahme durch das Forschungsprojekt „CCEM-Nachhaltige Wohnbaurerneuerung“ und indirekt auch dem „ERACOBUILD SchoolVentCool“ führte dazu, dass der Bauherr vor Baueingabe das System der Gebäudehülle auf dasjenige der Forschungsprojekte anpasste.

Die Anpassungen waren die integrierte Lüftungsleitung in den vorfabrizierten Modulen, eine Erhöhung der Wärmedämmung, und die Nutzung erneuerbarer Energie in Form von Photovoltaik auf dem Dach (ohne KEV). Der ursprüngliche Verbrauch lag bei rund 6000 Liter Öl pro Jahr für das gesamte Gebäude, wobei keine weiteren, genauen Daten bezüglich Lastprofilen vorhanden sind. Der Nachweis für das erneuerte Gebäude ergibt nun nach SIA 380/1 ein $Q_h = 123 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ (ohne Wärmerückgewinnung Lüftung). Die Mehrkosten gegenüber konventionellen vorfabrizierten Fassadenmodulen belaufen sich auf rund 100 Sfr/Laufmeter eingebaute Lüftungsleitung. Darin enthalten sind Planung, Material und Konstruktionsanpassungen an den Fassadenmodulen.

Die Auseinandersetzung mit Lüftungsleitungen in einem vorfabrizierten Element ist anspruchsvoll und bestimmend und nimmt den Status eines „kritischen Weges“ ein. (genauere Erklärungen dazu siehe [4] Kapitel 2.2.4). Die architektonischen Vorarbeiten waren bereits abgeschlossen, bevor der Entscheid zu den Modulen mit integrierter Lüftungsleitung fiel. So konnte nebenbei auch erkannt werden, dass zumindest in diesem Fall, sogar kurz vor Ausführung eine Änderung zu einem System mit mechanischer Lüftung ohne grossen Aufwand noch möglich war. Allerdings ist zu beachten, dass hier die Planung der Lüftungsleitungen relativ einfach war. Es durften geringere Luftwechselraten in den Schulklassen angenommen werden (der Bauherr geht von einer maximalen Belegung von rund 10 Personen pro Schulraum aus). Zu- und Ableitungen konnten mit je zwei Rohren (Aufteilung des Querschnitts

innerhalb opaker Wandteile) von 80 mm Durchmesser jeden Klassenraum mit genügend Frischluft versorgen.

In diesem Zusammenhang entschärft sich wieder etwas die Aussage, dass die Fassaden-Module für Mehrfamilienhäuser nicht direkt auf Schulgebäude anwendbar seien (gemäss vorläufige Schlussfolgerung in Kapitel 3.3). In Krummbach war dies der Fall. Die Übertragung kann vor allem dort hohes Potential haben, wo genügend opake Wandbereiche vorhanden sind und die Gebäude wenige Geschosse haben. Gemäss Typologie sind etwas mehr als 50% 2-3 geschossig. Vor allem unter der Beachtung, dass Rohrquerschnitte ohne weiteres auch grösser ausführbar sind, z.B. mit 100 mm, 200 mm, kommen kleinere Schulgebäude aus dieser durchwegs wieder in Betracht.

Die Positionierung der Lüftungsgeräte und die Führung der Lüftungsrohre sind in Abbildung 71 dargestellt.

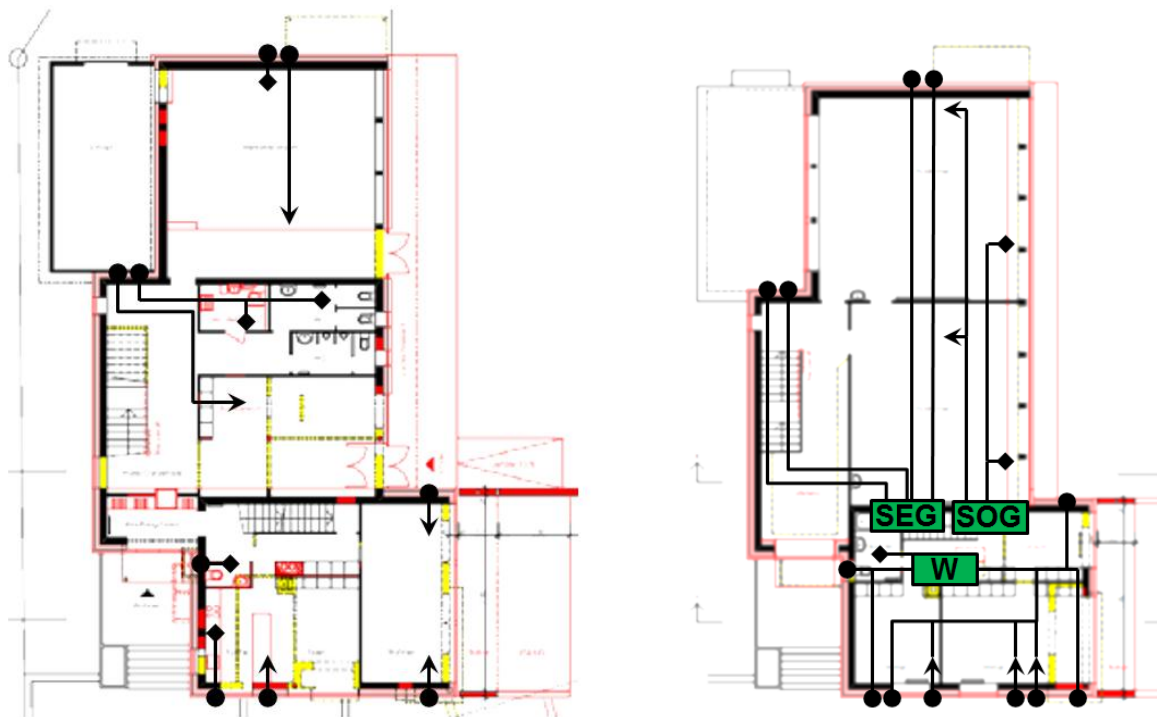


Abbildung 71: Grundrisse des Schulhauses Krummbach Erdgeschoss (links) und Obergeschoss (rechts)

Legende:

SEG: Lüftungsgerät Schultrakt Erdgeschoss / SOG: Lüftungsgerät Schultrakt Obergeschoss / W: Lüftungsgerät Wohntrakt / →: Zuluft / - ->: Abluft / -●-: vertikales Lüftungsrohr in der Fassade.

In Abbildung 72 sind die eindeutigen Massvorgaben der Durchdringungen für Planung und Ausführung zu sehen. Mit in diesem Fall 140 mm × 140 mm Aussendurchmesser für die Lüftungsleitungsführung inklusive Ummantelung kann der Planer als auch ausführende Unternehmen die Durchführungen in den Konstruktionen konstruieren. Die Ummantelung besteht aus Steinwolle. Dies Halbschalen sind mit verschiedenen Massen auf dem Markt erhältlich. Sie besitzen Nuten zur passgenauen Positionierung aufeinander. Im Werk werden Löcher an genau definierter Stelle mit genauen Massen gefertigt. So sind die Halbschalen einführbar und bei genauer Masseinhaltung entsteht auch genügend Druck von der Halbschale auf das Metalllüftungsrohr, so dass ein Rausfallen während der Montage verhindert wird. Die geometrischen Vorgaben zwingen Planer und Ausführender zur gemeinsamen, masslichen Planung vor Produktionsbeginn der Fassadenmodule.

In der Abbildung 72 rechts sind zwei Fassadenmodule in der Montage am Bau zu sehen. Das untere Modul ist bereits an der Fassade befestigt und verschiebbare Verbindungsstücke sind in die Lüftungsrohre eingesteckt (Teleskopsystem). Das obere Fassadenmodul wird nun bis kurz über das untere abgesenkt, sodass die Verbindungsstücke in das obere Modul eingesteckt werden können, und dann vollständig auf das untere Modul abgesetzt (siehe auch Abbildung 55).



Abbildung 72: links: Detail eines Lüftungsrohres bei der Montage der Module im Werk, rechts: Zusammenführen zweier Module mit Lüftungsrohren bei der Montage am Gebäude

Die Vorfabrikation der Fassadenmodule und die Montage wurden fotografisch und filmisch dokumentiert. Dazu wird ein Kurzfilm produziert, der Planenden und Ausführenden einen praxisnahen, konkreten Einblick vermittelt. Der Film wird unter [25] herunterladbar sein.

3.10. Erneuerungspotential des Gebäudebestands

Grösse des Schulgebäudebestands

Die Anzahl aller öffentlichen Schulen¹⁶ in der Schweiz ist bekannt. Die folgende Abbildung stellt sie gemäss den Sprachregionen dar.

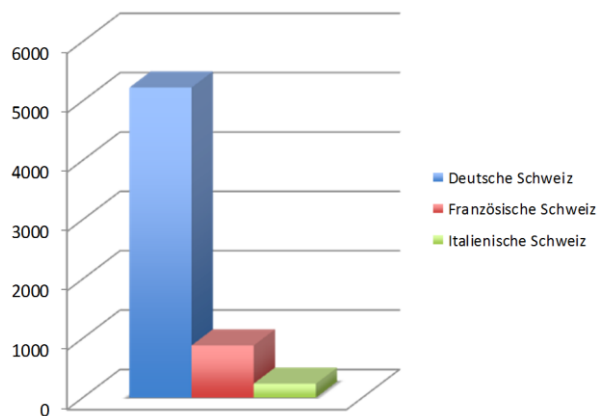


Abbildung 73: Anzahl aller öffentlichen Schulen in der Schweiz (Primar- und Sekundarstufe, Abbildung basiert auf [32])

Von total 6339 Schulen entfallen mit 5225 Schulen ca. 82% aller öffentlichen Schulen der Primar- und Sekundarstufe auf den deutschsprachigen Teil der Schweiz. Im französisch-

¹⁶ Schulen können sich auf einzelne Schulgebäude oder Schulanlage beziehen
92/146

sprachigen Teil der Schweiz sind dies mit 879 Schulen ca. 14% und im italienisch sprachigen Teil der Schweiz sind dies mit 235 Schulen ca. 4% des Schulbestands [32]. Um das Erneuerungspotenzial abzuleiten wird eine Anpassung des Schulbestands definiert, dabei werden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Schulen im Inventar des Denkmalschutzes
- Schulen nach 1990 erbaut

Anpassung des Schulbestands

Schulen im Inventar des Denkmalschutzes:

Wie aus der Tabelle 13¹⁷ ersichtlich, ist der Anteil inventarisierter Schulen in den einzelnen Kantonen sehr unterschiedlich. Die verfügbaren Angaben zum Denkmalschutz stammen aus verschiedenen Städten und Kantonen. Der Anteil inventarisierter Schulen beträgt zwischen 7% (Kanton Aargau) und 91% (Stadt Luzern). Der aus den verfügbaren Daten berechnete Durchschnittswert des Anteils inventarisierter Schulen beträgt 32%. Die Bauperiode der 70er Jahre ist bei der Denkmalpflege der Städte und Kantone z.T. noch nicht erfasst bzw. bewertet, es ist deshalb davon auszugehen, dass der Anteil schützenswerter oder geschützter Schulen über dem berechneten Durchschnittswert liegt. In der Berechnung zum Erneuerungspotenzial wird deshalb von einem höheren Anteil inventarisierter Schulen als 50% ausgegangen.

Schulen	Gesamt Anzahl	Inventar Anzahl	Inventar %
Stadt			
Luzern	35 (SG)	32 (SG)	91 (SG)
St. Gallen	41 (SA)	19 (SA)	46 (SA)
Zürich	116 (SG)	78 (SG)	67 (SG)
Kanton			
Aargau	493 (SG)	36 (SG)	7 (SG)
Baselland	k.A.	20 (SG) kant. 63 (SG) komm.	k.A.
Bern	1076 (SG) ¹⁸	k.A.	k.A.
Glarus	k.A.	k.A.	ca. 30-50 (SG)
Graubünden	k.A.	118 (SG)	k.A.
Nidwalden	k.A.	20 (SG) 5 (SA)	k.A.
Solothurn	k.A.	15 (SG) kant. 31 (SG) komm.	k.A.
Thurgau	287 (SG)	168 (SG wertvoll/ bes. wertvoll)	59 (SG)
Zug	144 (SG)	25 (SG)	17 (SG)
Zürich	642 (SG)	210 (SG)	33 (SG)

Tabelle 13: Schulgebäude (SG) / Schulanlagen (SA) von Kantonen und Städten und deren Anteil am Inventar der Denkmalpflege

¹⁷ Basierend auf Auskünften der kantonalen- und kommunalen Ämtern der Denkmalpflege

¹⁸ Inklusive Kindergärten

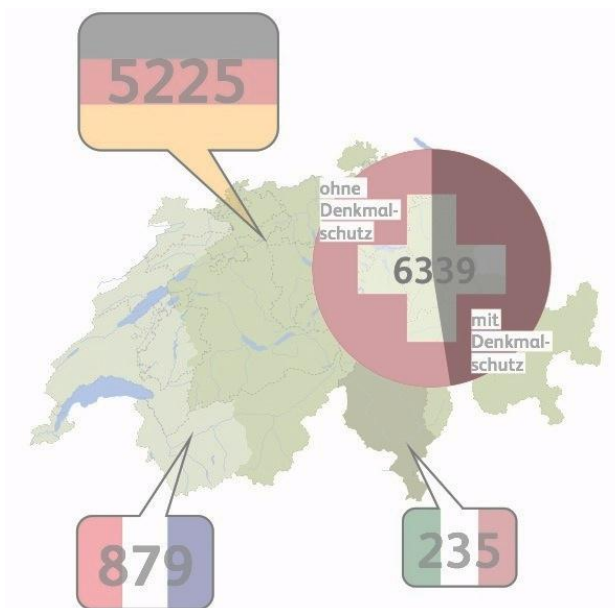


Abbildung 74: Gesamtheit öffentlicher Schulen (Primar- und Sekundarstufe) in der Schweiz mit dem Anteil denkmalgeschützter Schulen (Annahme 50%)

Die Abbildung 75 zeigt am Beispiel der Volksschulen der Stadt Zürich welche Bauperioden bzw. Baustile in welchem Masse vom Inventar des Denkmalschutzes betroffen sind. Daraus kann für die Stadt Zürich abgeleitet werden, dass für die vorfabrizierte Erneuerung von Schulgebäuden massgeblich die Bauperiode der 50er Jahre und der 60er - 70er Jahre in Frage kommen, da sich alle anderen Schulen zwischen 90%-100% im Inventar der Denkmalpflege befinden. Der Anteil der Schulen aus den 50er bis 70er Jahren beträgt 34% am Gesamtportfolio, wovon sich zwischen 23% - 29% im Inventar des Denkmalschutzes befinden.

Epoche / Baustil:		Anteil am Portfolio:	davon Inventar:
1	Spätklassizismus, Neurenaissance	10%	90%
2	Späthistorismus, Heimatstil	20%	95%
3	Neoklassizismus	3%	100%
4	Neues Bauen, klassische Moderne	11%	97%
5	Landstil 1950er Jahre	16%	23%
6	Nachkriegsmoderne 1950er Jahre, Pavillonsschulen	7%	70%
7	Nachkriegsmoderne 1960er, 1970er Jahre	18%	29%
8	1980er und 1990er Jahre	2%	-
9	Neuer Aufbruch, Nebengebäude	8% 5%	-
Total		100%	55%

Abbildung 75: Volksschulen der Stadt Zürich nach Baustil und Anteil am Inventar [33]

Schulen nach 1990 erbaut:

In der Berechnung zum Erneuerungspotenzial wird davon ausgegangen, dass Schulen, welche nach 1990 erbaut wurden, nicht für eine umfassende Erneuerung mit vorfabrizierten Fassadenmodulen in Frage kommen. Der Anteil erstellter Schulen nach 1990 beträgt z.B. in

der Stadt Zürich 8% [33]. Bereits erneuerte Schulen vor 1990 sind in der Studie Gebäudeparkmodell für Büro,- Schul,- und Wohngebäude am Beispiel von Kantonsschulen aufgeführt. Diese betragen vor 1947 11%, zwischen 1947 - 75 10% und zwischen 1975 - 85 3% (24% insgesamt) [34]. Aufgrund der vergangenen Erneuerung (vor 1990) werden diese jedoch nicht für die Anpassung zur Berechnung des Erneuerungspotenzials berücksichtigt.

Ermittlung des Erneuerungspotenzials

Ausgehend von der Anzahl von 6339 (Stand 2001) aller öffentlichen Schulen (Primar- und Sekundarstufe) in der Schweiz, dem Anteil inventarisierter Schulen der Denkmalpflege (Annahme 50%), der Anzahl nach 1990 gebauter Schulen (8% am Beispiel der Stadt Zürich) ergibt sich das in der Tabelle 14 dargestellte Erneuerungspotenzial für Schulen.

Schulen	D-Schweiz	F-Schweiz	I-Schweiz	Total
Primar- und Sekundarstufe [15]	5225	879	235	6339
Inventar der Denkmalpflege (Annahme 50%)	2'613	440	118	3'170
Nach 1990 gebaut (Annahme 8%) [13]	418	70	19	507
Erneuerungspotenzial (Annahme)	2'195	369	99	2'662

Tabelle 14: Erneuerungspotenzial von Schulen mit vorfabrizierten Fassadenmodulen

Die maximale Anzahl der Schulen mit Erneuerungspotenzial für vorfabrizierten Fassadenmodule, unter Anwendung der beschriebenen Anpassung des Gebäudebestands, beträgt Total 2'662 Schulen. Es ist im Einzelfall ist zu prüfen ob eine Erneuerung mittels vorfabrizierten Systemen aus Sicht aller beteiligten Interessenvertreter machbar ist. Der Einsatz vorfabrizierter Fassadenmodule wird im Besonderen von der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu alternativen Erneuerungsmassnahmen abhängen und der Bereitschaft, diese Methode bei der energetischen Erneuerung als auch überhaupt die mechanische Lüftung einzusetzen.

Erneuerungspotenzial – ein Szenario bis 2020, 2030 und 2050

Ausgehend von einer steigenden Sanierungsrate und einer Erneuerung des gesamten Schulgebäudeparks wird ein Szenario für einen Produktlebenszyklus bis 2050 abgeleitet. Dieser Produktlebenszyklus besteht aus einer Einführungsphase (Annahme 2010 – 2020), einer Wachstumsphase (Annahme 2020 – 2030), und einer Volumenphase (Annahme 2030 – 2050) [35].

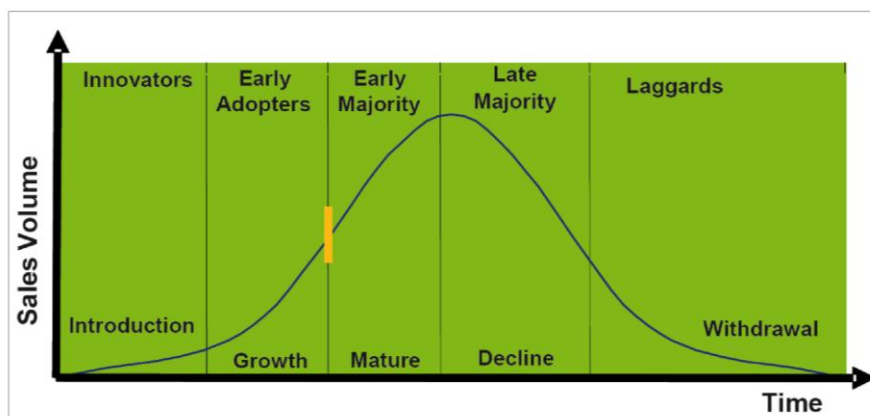


Abbildung 76: Phasen und Hauptakteure im Produktlebenszyklus [35]

Einführungsphase: jährlichen Erneuerungsrate 1.5% von 2010-2020

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Erneuerungsrate von 1.5% ergibt sich bis von 2010 bis 2020 ein Erneuerungspotenzial von 15% oder total 399 Schulen.

Wachstumsphase: jährlichen Erneuerungsrate 2.5% von 2020-2030

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Erneuerungsrate von 2.5% ergibt sich bis von 2010 bis 2030 ein Erneuerungspotenzial von 25% oder total 666 Schulen.

Volumenphase: jährlichen Erneuerungsrate 3% von 2030-2050

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Erneuerungsrate von 3% ergibt sich bis von 2010 bis 2030 ein Erneuerungspotenzial von 60% oder total 1597 Schulen.

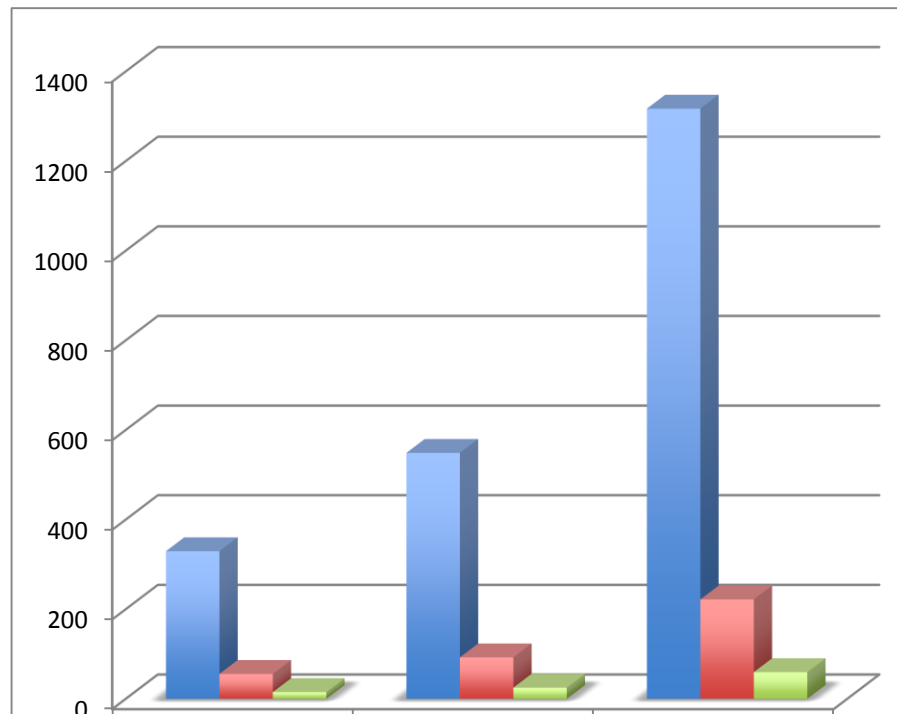


Abbildung 77: Szenario des Erneuerungspotenzials öffentlicher Schweizer Schulen im Produktlebenszyklus bis 2050

In der Abbildung 77 ist ein Szenario des Erneuerungspotenzials öffentlicher Schweizer Schulen bis 2050 dargestellt, unter der Annahme jährlicher Erneuerungsraten von 1.5% (2010-2020), 2.5% (2020-2030) und 3% (2030-2050).

Literaturverzeichnis

- [1] ERACOBUILD; an ERA-NET coordination action of the European Commission; http://cordis.europa.eu/fp7/coordination/pdf/eracobuild_en.pdf
- [2] SchoolVentCool (2010-2013); Homepage des Projektes der beteiligten Länder Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz; <http://www.schoolventcool.eu/>
- [3] IEA ECBCS Annex 50, Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings; <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>
- [4] Kobler R.L., Binz A., Steinke G.; Nachhaltige Wohnbaurneuerung, vorgefabrizierte Fassaden- und Dachmodule (Schlussbericht der Module A3, A4 im CCEM Forschungsprojekt); 2010; <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppe-bau/advanced-retrofit-nachhaltige-wohnbaurneuerungen>
- [5] Hässig W., Schickor C.; Lüftung für Schulen – Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen; Stadt Zürich – Amt für Hochbauten; Zürich CH; 2012
- [6] SIA 2024:2006 - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA; Zürich CH; 2006
- [7] SIA 382/1:2007 - Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA; Zürich CH; 2007
- [8] EN 15251:2007 - Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Brüssel BE; 2007
- [9] ASHRAE 62.1-2010 - Ventilation for acceptable indoor air quality; ASHRAE; Atlanta, GA, USA; 2010
- [10] "Frische Luft macht Kinder munter" in Bildung Schweiz, Heft 10a, LCH Dachverband Schweizer Lehrerinnen und Lehrer; Zürich CH; 2009
- [11] Wyon D.P., Wargocki P.A., Toftum J., Clausen G.; "Classroom ventilation must be improved for better health and learning"; REHVA-Journal 47-4 S.35-39; ICIEE-DTU; Copenhagen 2010
- [12] Bildungsgesetz Baselland. SGS 640. GS 34.0637. vom 06.06.2002; Kanton Basel-Landschaft; Liestal CH; 2002
- [13] Hviid C., Svendsen S.; Experimental study of perforated suspended ceilings as diffuse ventilation air inlets; Energy and Buildings (ISSN: 0378-7788) (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.010>), vol: 56, pages: 160-168, 2013
- [14] VKF-Brandschutzrichtlinie Lufttechnische Anlagen / 26-30d. vom 26.03.2003; Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; Bern CH; 2003
- [15] VKF-Brandschutzrichtlinie Schutzabstände Brandabschnitte / 15-03d. Stand 20.10.2008; Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; Bern CH; 2008
- [16] Kopeinig, G.; The realised success story; Passivehouse Symposium 2012; Brüssel BE; 2012 (verfügbar unter: <http://schoolventcool.eu/publications>)
- [17] Hässig W. et al.; CO₂-gesteuerte Lüftungen in Schulen – Energieeinsparungen durch CO₂-gesteuerte Lüftungen; Bundesamt für Energie; Mrz. 2008; Bern, CH
- [18] Hässig W. et al.; Automatisierte Fensterlüftung – erfolgreich eingesetzt in einem modernisierten Primarschulhaus; 16. Brenet – Statusseminar; Sep. 2010; Zürich, CH
- [19] Produktprospekt: NV Comfort – Regelung des Raumklimas mit natürlicher Lüftung, Version 3-1; Jul. 2012; Windowmaster AG, Trimbach, CH
- [20] Velux Informationsblatt: Solhuset – Lions Active House; Mrz. 2012; VKR Holding A/S, Hørsholm, DK
- [21] Galli A., Hässig W.; Kontrollierte Fensterlüftung – Pilotprojekt Schulhaus Untermoos; Stadt Zürich, Amt für Hochbauten; Okt. 2009; Zürich, CH
- [22] Coutalides R., Heinss U.; Vergleichende Luftqualitätsmessung in Schulhäusern im Kanton Aargau; Baudepartement des Kanton Aargau, Abteilung Hochbauten; Mrz. 2005; Aarau, CH
- [23] Wargocki P., da Silva N.; Use of CO₂ feedback as a retrofit solution for improving air quality in naturally ventilated classrooms; Healthy Buildings 2012; Jul. 2012; Brisbane AU
- [24] Kobler R.L., Binz A., Steinke G.; "IEA ECBCS Annex 50 – Retrofit Module Design Guide – Part A"; Institute of Energy in Building – FHNW; Muttentz 2011 (available at <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>)
- [25] Homepage IEBAU, SchoolVentCool, ERACOBUILD: <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppe-bau/schoolventcool-eracobuild>
- [26] Fischer, Robert; Schwehr, Peter; *Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes 1919-1990*; Hochschule Luzern, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP); 2010; Download [http://www.empa-ren.ch/A50/Annex 50 Final Publications for Internet/Building Typology and Morphology_01-10.pdf](http://www.empa-ren.ch/A50/Annex%2050%20Final%20Publications%20for%20Internet/Building%20Typology%20and%20Morphology_01-10.pdf) (27.03.2013)
- [27] Erhorn H., Morck O., Mroz T., Schmidt F.; *Technical Synthesis Report Annex 36, Retrofitting in Educational Buildings*; Hertfordshire, UK; Faber Mansuelli; 2007; Download http://www.ecbcs.org/docs/annex_36_tsr_web.pdf (27.03.2013)
- [28] Koutamanis A., Steijns Y.; *A briefing approach to dutch school design*; Delft: University of Technology NL; 2005 ; Download <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB5551.pdf> (27.03.2013)
- [29] Haselsteiner E., Lorbek M., Stosch G., Temel R.; *Handbuch Baustelle Schule, Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen*; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; 2010 ; Download http://download.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/handbuch_1047b_baustelle_schule.pdf (27.03.2013)

- [30] Cantin R. and Guarracino G.; *Typological audit for energy retrofitting of educational buildings*; Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering; June 14-16, 2006 - Montréal, Canada ; Download <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB21090.pdf> (27.03.2013)
- [31] Geier S., Höfler K.; *Retrofit Strategies - Design Guide Part B*, AEE; Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC); Austria 2010; Download http://www.empa-ren.ch/A50/Annex%2050%20Final%20Publications%20for%20Internet/DesignGuide_ECBCS_A50.pdf (27.03.2013)
- [32] Ewert, Uwe; Müller Christian; Bächli-Biétry, Jaqueline; *Sicherheitsförderung an Schulen*; Bern, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU); 2004; Download http://www.bfu.ch/PDFLib/811_105.pdf (27.03.2013)
- [33] *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft*; Stadt Zürich Hochbaudepartment; In: 4-Uhr-Veranstaltung 9. März 2010 (27.03.2013)
- [34] Wallbaum M., Heeren N., Jakob M., Martius G., Gross N.; *Gebäudeparkmodell Zürich*; Stadt Zürich Amt für Hochbauten; Zürich CH; 2010; Download http://www.stadtzuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/Nachhaltiges_Bauen/1_2000_Watt/0_Grundlagen/100611_GPM_ZH_Endbericht_v3_41.pdf (27.03.2013)
- [35] Rødsjø A., et al.; *From Demonstration Projects to Volume Markets. Market Development for Advanced Housing Renovation*; April 2010; Download http://archive.iea-shc.org/publications/downloads/Advanced_Housing_Renovation.pdf (27.03.2013)
- [36] Scheidegger, Adrian; *Schulhausarchitektur*; In: ph | akzente 1/2005; Download http://www.phzh.ch/de/ueber_uns/Kommunikation/Publikationen/Zeitschrift_ph_akzente/Archiv_ph_akzente_2003-2008/ (29.01.2013)
- [37] Markus, Lichtmeß; *Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden*; Wuppertal: Bergische Universität - Dissertation Fachbereich D – Architektur; Wuppertal DE; 2010
- [38] *Kanton Zürich Empfehlungen für Schulhausanlagen vom 1. Januar 2012*; Baudirektion Kanton Zürich, Bildungsdirektion Kanton Zürich; 2012; Download <http://www.vsa.zh.ch> (25.04.2013)
- [39] Geier S. et al.; *The way towards your cool school – A guideline to high performance school renovations in Europe*; SchoolVentCool; Antwerp BE; 2012
- [40] Hviid C.; *Implementation of ventilation in existing schools – a criteria list towards passive schools*; Passivehouse Symposium 2012; Brüssel BE; 2012 (verfügbar unter: <http://schoolventcool.eu/publications>)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Informationsaustausch zwischen internationalen Instituten mit sich ergänzenden Fachkompetenzen	10
Abbildung 2: Typologische Evolution von Schulgebäuden am Beispiel von den Niederlanden: (von links nach rechts) Korridor-, Hallen- und Pavillontyp [28]	13
Abbildung 3: Sieben Schritte zur Gebäudetypologie [26]	14
Abbildung 4: Fallstudien als Grundlage für die qualitative Gebäudetypologie	15
Abbildung 5: Explosionszeichnung eines Fassadenmoduls mit integrierter Lüftungsleitung für Mehrfamilienhäuser als Ausgangslage für Schulgebäude. (Auszug aus [4])	18
Abbildung 6: Beispiel für eine Klassenraumsituation und Personenverteilung im Grundriss mit 20-26 Schülern und 1-2 Lehrpersonen.	20
Abbildung 7: Darstellung zur Anordnung von Brandschutzklappen und lüftungstechnischen Zusammenfassung von Räumen aus Kapitel 4.8.2 der VKF-Brandschutzrichtlinie „Lüftungstechnische Anlagen / 26-30d“ [14].	23
Abbildung 8: Oben links: erneuertes Schulgebäude „Volksschule Sörg“ in Österreich / oben rechts: Die Lüftungsrohre für Zuluft sammeln sich im Korridor / unten links: Überströmung der Klassenzimmer- Abluft in den Korridor / unten rechts: Abluffassung im Klassenzimmer	24
Abbildung 9: Heizenergiebedarf unterschiedlicher Bauperioden, Standort Österreich [29].	26
Abbildung 10: Transmissionswärmeverluste der Gebäudehüllfläche unterschiedlicher Bauperioden [29]	27
Abbildung 11: Grundformen unterschiedlicher Schulgebäude [30]	27
Abbildung 12: Energetische Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Gebäudegrundformen [30]	28
Abbildung 13: Durchschnittliches Flächenangebot in m ² nach Raumkategorie [36]	28
Abbildung 14: Flächenaufteilungen verschiedener Schultypen nach Hauptnutzfläche, Nebennutzfläche, Funktions- und Verkehrsfläche in % (links 0%, rechts 100%) [37]	29
Seite 242	
Abbildung 15: Gesamttypen und deren Anwendungsbereiche im Projekt SchoolVentCool	32
Abbildung 16: Fokustypen und deren Anwendungsbereiche im Projekt SchoolVentCool	33
Abbildung 17: Zusammenstellung Fallbeispiele aus beteiligten Ländern im Projekt SchoolVentCool	34
Abbildung 18: <i>Fallstudien der Projektpartner aus Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz (DK04, DK08 sowie CH03, CH04 in Darstellung nicht enthalten)</i>	34
Abbildung 19: Leitmerkmale und deren Varianten im Projekt SchoolVentCool	36
Abbildung 20: Zugänglichkeit betreffend Einsatz vorfabrizierter Fassadenmodule	36
Abbildung 21: Austauschbarkeit der Fassade hinsichtlich vorfabrizierter Fassadenmodule	38
Abbildung 22: Lüftungssystem (zentral siehe 3.4, dezentral siehe 3.5) und Lüftungsverteilung hinsichtlich vorfabrizierter Fassadenmodule	38
Abbildung 23: Typische Fassaden von Schulgebäuden (Lochfassade, Skelettfassade und Bandfassade)	41
Abbildung 24: Lastabtragung betreffend und Einsatz vorfabrizierter Fassadenmodule	42
Abbildung 25: Leitmerkmale des Gebäudebestands in Bezug zu den Massnahmen der vorfabrizierten Erneuerung	43
Abbildung 26: Auswertung der Leitmerkmale und Ableitung der Gesamttypen (GT), der Menge nach geordnet	44
Abbildung 27: Kategorisierung der Gesamttypen mit Referenzgebäuden	45
Abbildung 28: Relevante Fensterabstände mit Schwellenwerten hinsichtlich der Lüftungsverteilung	46
Abbildung 29: Relevante Brüstungs- und Sturztypen mit Schwellenwerten gemäss Abbildung 30 hinsichtlich der Lüftungsverteilung (links: nur Brüstung ohne Sturz, mittig: Brüstung und Sturz, rechts: nur Sturz ohne Brüstung)	46
Abbildung 30: Fassadentypen aus den Fallstudien und abgeleitete Fokustypen mit Schwellenwerten zum Fensterabstand, Sturz- und Brüstungshöhe, für die z.B. die Abschätzung der Realisierung von Lüftungsleitungen	47

Abbildung 31: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Lochfassaden (oben: FT L1, mittig: FT L2, unten: FT L3)	49
Abbildung 32: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Skelettfassaden (oben: FT S1, mittig: FT S2, unten: FT S3)	50
Abbildung 33: Grundsätzliche Brüstungs- und Sturzsituationen bei Bandfassaden (oben: FT B1, mittig: FT B2, unten: FT B3)	51
Abbildung 34: Desquinee in Antwerpen, ein älteres Bürogebäude soll zu einem erneuerten Schulgebäude umfunktioniert werden.	54
Abbildung 35: Annahme von Standard Klassenräumen, angeordnet zur Festlegung von Leitungsführungen in der Fassade. Die Pfeile weisen auf die entfernbaren Zierteile.	56
Abbildung 36: Dimensionsveränderung der Querschnitte für Durchdringungen und Planung der Masse von Lüftungsleitungen. Links zum Vergleich für Mehrfamilienhäuser, rechts für das Beispielobjekt Desquinee als Schulgebäude.	57
Abbildung 37: Zentrales Lüftungssystem mit Einzelrohr für Zu- und Abluft, nebeneinander	57
Abbildung 38: Zentrales Lüftungssystem mit Einzelrohr für Zu- und Abluft, voreinander	58
Abbildung 39: Zentrales Lüftungssystem mit kombinierter Zu- Abfuhr	58
Abbildung 40: Gesamtdarstellung der möglichen vertikalen Lüftungsleitungsverteilung	59
Abbildung 41: links Fassadenschnitt mit vorgehängten Modulen, rechts: diskutierte Rohrführungen in der Fassade	60
Abbildung 42: Aufteilung des erforderlichen Lüftungsquerschnittes in opaken Bereichen.	61
Abbildung 43: Lochfassaden am Beispiel der Fallbeispiele A03 (links - AEE INTEC), A05 (mittig - AEE INTEC), und CH04 (rechts – IEBau/CCTP)	62
Abbildung 44: Bandfassaden bei den Fallbeispielen CH05 (links – CCTP), CH07 (mittig – CCTP) und DK02 (rechts – DTU)	63
Abbildung 45: vertikale plus horizontale Lüftungsverteilung bei Loch- und Bandfassaden, blau: Frischluftzufuhr/ rot: Abfuhr	63
Abbildung 46: drei Grundmöglichkeiten der horizontalen Leitungsführung	64
Abbildung 47: Varianten der Lüftungsleitungsführung in Fassadenmodulen, vorwiegend für Lochfassaden und Bandfassaden	65
Abbildung 48: Links: Prinzip der Übereckführung von Lüftungsleitungen in der Fassade, rechts: mit Weiterführung auf dem Dach zur Zentrale.	66
Abbildung 49: Beispiel Verteilung der Frischluft mit Lochdecken	66
Abbildung 50: H_s =relevante Höhe resp. verfügbarer Bereich des Sturzes für die Planung von zentraler Lüftung mit Rohrdurchdringungen beim bestehenden Mauerwerk	67
Abbildung 51: Mögliche Ausgangssituationen für statische Befestigungspunkte von Fassadenmodulen. Bestehendes Mauerwerk rot, Betondecken grau, neues Fassadenmodul gelb.	68
Abbildung 52: Module nach Montage, Farben gemäss Abbildung 51.	68
Abbildung 53: Beispiel Schnitt einer horizontalen Leitungsführung (L4/B4 gemäss Abbildung 47).	69
Abbildung 54: Isometrische Darstellung der Bauteile des Elementtyps L4, B4 gemäss Abbildung 53	70
Abbildung 55: Zusammenfügen von Fassadenmodulen am Bau, inkl. Vorgang Verbindung von Lüftungsleitungen	70
Abbildung 56: Schnittstellen zwischen Modulen und Maximierung der horizontalen Lüftungsleitungsführung und statische Einflüsse auf Fassadenmodule	71
Abbildung 57: Unterschiedliche Lamelleneinstellungen beim erneuerten Schulhaus Neumarkt/Steirmark.	72
Abbildung 58: dezentrale Lüftung, Beispiel eines Lüftungsgerätes für den Einbau, Quelle: SIGENIA	73
Abbildung 59: „Wurfweite“ der Frischluft aufgrund von zur Verfügung stehender Fassadenfläche	74
Abbildung 60: Skelettfassaden am Beispiel der Fallbeispiele A02 (links - AEE INTEC), CH01 (mittig – CCTP) und CH08 (rechts – CCTP)	75
Abbildung 61: Varianten der Einbringung des dezentralen Lüftungsgerätes	77
Abbildung 62: Ungünstige Durchdringungsbereiche für dezentrale Lüftung	78
Abbildung 63: Statische Abstimmung der Element-Typen S1-S8 und mögliche Raumerweiterung bei einspringenden Wänden	78
Abbildung 64: Schulhaus Untermos in Zürich, CH – Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung (links: Südost-Ansicht, rechts: automatisch geöffnete Fenster während dem Unterricht)	81

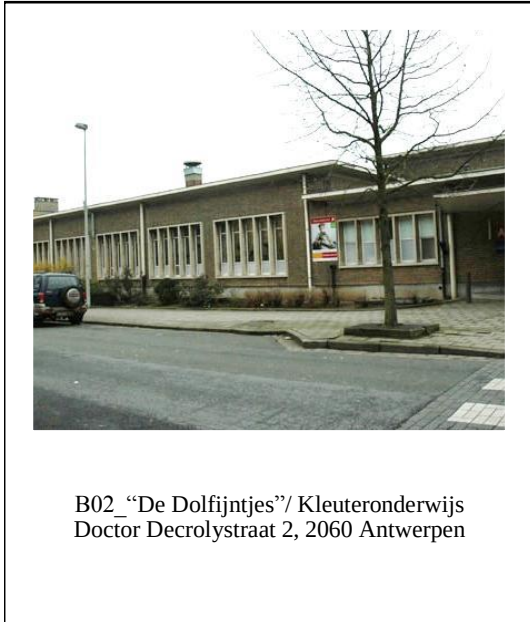
Abbildung 65: Kindergarten Værløse, DK – Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung und unterstützendem Abluftventilator (siehe Pfeile im Bild)	82
Abbildung 66: Kindergarten mit Tagesbetreuungszentrum Solhuset in Hørsholm, DK - Frischluftzufuhr mit automatischer Fensterlüftung und mechanischer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	83
Abbildung 67: Gesamtplanungsablauf für den Einsatz von vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftung	87
Abbildung 68: <i>Erste Einschätzung des Gebäudebestands für die Erneuerung mit vorfabrizierten Fassadenmodulen</i>	88
Abbildung 69: Der Fassadentyp als Grundlage für die Massnahmen der vorfabrizierten Fassadenerneuerung	89
Abbildung 70: Ansicht des Schul-/Wohngebäudes zu Beginn der Erneuerung und kurz vor Fertigstellung	90
Abbildung 71: Grundrisse des Schulhauses Krummbach Erdgeschoss (links) und Obergeschoss (rechts)	91
Abbildung 72: links: Detail eines Lüftungsrohres bei der Montage der Module im Werk, rechts: Zusammenführen zweier Module mit Lüftungsrohren bei der Montage am Gebäude	92
Abbildung 73: Anzahl aller öffentlichen Schulen in der Schweiz (Primar- und Sekundarstufe, Abbildung basiert auf [32])	92
Abbildung 74: Gesamtheit öffentlicher Schulen (Primar- und Sekundarstufe) in der Schweiz mit dem Anteil denkmalgeschützter Schulen (Annahme 50%)	94
Abbildung 75: Volksschulen der Stadt Zürich nach Baustil und Anteil am Inventar [33]	94
Abbildung 76: Phasen und Hauptakteure im Produktlebenszyklus [35]	95
Abbildung 77: Szenario des Erneuerungspotenzials öffentlicher Schweizer Schulen im Produktlebenszyklus bis 2050	96
Abbildung 78: Fallstudie CH08 als Beispiel für die Bauperiode der 50er Jahre	142
Abbildung 79: Fallstudie CH02 als Beispiel für die Bauperiode der 60er Jahre	143
Abbildung 80: Fallstudie A01 als Beispiel für die Bauperiode der 70er Jahre	145

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typische U-Werte von Schulgebäuden nach Bauperiode, [29] Seite 15-28	16
Tabelle 2: spezifischer Frischluftbedarf von Personen in Klassenzimmern	19
Tabelle 3: Richtwerte für die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen je nach maximalem Luftvolumenstrom.	20
Tabelle 4: Exemplarische Rohrdurchmesser für runde Lüftungsleitungen abhängig vom zu transportierenden Nominal-Volumenstrom	21
Tabelle 5: Brandschutzanforderungen im internationalen Vergleich bei den beteiligten Projektpartnern	25
Tabelle 6: Anforderungen an Unterrichtsräume im internationalen Vergleich der beteiligten Projektpartner	30
Tabelle 7: Fallstudien der Projektpartner aus Belgien, Dänemark, Österreich und der Schweiz (Fettdruck – vertieft untersuchte Fallbeispiele)	35
Tabelle 8: Anhaltspunkte für Planung und Konstruktion	53
Tabelle 9: weitere Rahmenbedingungen von Desquinee, Antwerpen	55
Tabelle 10: Übersicht Vorgehen bei der Planung im Fall zentrale/dezentrale Lüftung, automatische Fensterlüftung	61
Tabelle 11: Kriterien für/gegen dezentrale Lüftung	74
Tabelle 12: Beispielhafte technische Daten zu einem horizontal liegenden Fassadenlüftungsgerät [Siegenia]	76
Tabelle 13: Schulgebäude (SG) / Schulanlagen (SA) von Kantonen und Städten und deren Anteil am Inventar der Denkmalpflege	93
Tabelle 14: Erneuerungspotenzial von Schulen mit vorfabrizierten Fassadenmodulen	95

Anhang 1 Eingereichte Fallstudiengebäude

1. Submitted case study buildings of Belgium

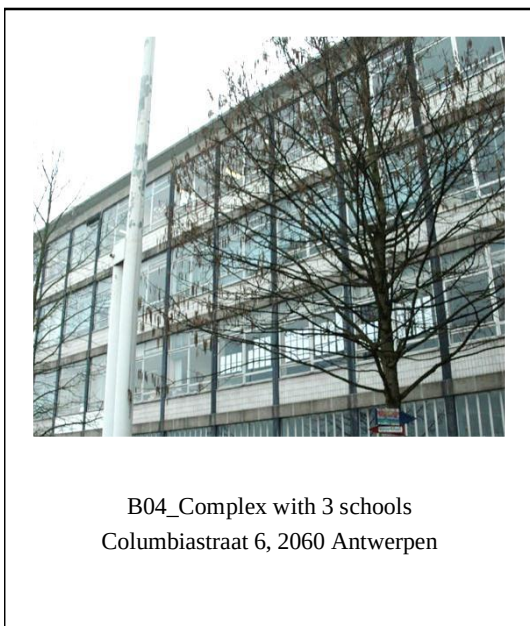


School complex

Name	De Dolfijntjes Kleuteronderwijs
Address	Doctor Decrolystraat 2 2060 Antwerpen
Lot area of school complex	6.765 m ²

School building

Year of construction	1953
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	2.525 m ² / 9468 m ³
Type of façade	Punctuated facade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	1
Number/ area of typical classrooms	10/ 61,22 m ² and 64,8 m ²
Energy demand for heating	EPC 302,3 kWh/m ²
Heating system	N/A
Type of ventilation	N/A



School complex

Name	N/A
Address	Columbiestraat 4, 2060 Antwerpen
Lot area of school complex	2.868 m ²

School building

Year of construction	1961
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	2.678 m ² / 10.041m ³
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	4+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	46,64 m ²
Energy demand for heating	EPC 646,04 kWh/m ²
Heating system	CHS, fed by gas/ electricity
Type of ventilation	Naturally on one side



B03_Complex with 3 schools
Columbiestraat 8, 2060 Antwerpen

School complex

Name	N/A
Address	Columbiestraat 8 2060 Antwerpen
Lot area of school complex	4.745 m ²

School building

Year of construction	1961
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	5.068 m ² / 19.007 m ³
Type of façade	Skeleton façade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	2+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	EPC 557,8 kWh/m ²
Heating system	N/A
Type of ventilation	N/A



B05_Talencentrum Temporary
Desguinlei 33, 2020 Antwerpen (former office building)

School complex

Name	Talencentrum Temporary
Address	Desguinlei 33 2020 Antwerpen
Lot area of school complex	8.017 m ²

School building

Year of construction	1960
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	9.456 m ² / 31.827 m ³
Type of façade	Skeleton façade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	6+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	Open plan (former office)
Energy demand for heating	EPC 304,24 kWh/m ²
Heating system	CHS, fed by oil/ electricity
Type of ventilation	Naturally on one side, cross and mechanical extraction (decentralised)



B06_Frans Van Hombeeckplein 29, 2600
Antwerpen

School complex

Name	N/A
Address	Frans Van Hombeeckplein 29, 2600 Antwerpen
Lot area of school complex	1.650 m ²

School building

Year of construction	1970
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	13.66 m ² / 9.149 m ³
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	N/A
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	27/ 65m ² – 85 m ²
Energy use for heating	224,49 kWh/m ² (per year)
Heating system	CHS, fed by gas/ electricity
Type of ventilation	Naturally on one side

2. Submitted case study buildings of Denmark



School complex

Name	Ny hollænder skolen Building Nr. 1
Address	Hollændervej 3 1855 Frederiksberg
Lot area of school complex	5.900 m2

School building

Year of construction	1970
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	315 m2 (each floor)/
Type of façade	Skeleton façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	4
Number/ area of typical classrooms	16/ 44,64 m2
Energy demand for heating	calc.80 kWh/m2 (hot water)
Heating system	No
Type of ventilation	Ventilation through two top windows in each classroom



School complex

Name	Ny hollænder skolen Building Nr. 2
Address	Hollændervej 3 1855 Frederiksberg
Lot area of school complex	ca. 4.000m2

School building

Year of construction	1890
Status as listed building	Yes
Gross Floor area/ Volume	ca. 700 m2
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	4
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced



DK02_Virum skole Building Nr. 4,
Skolebakken 9, 1 sal 2830 Virum

School complex

Name	Virum skole Building Nr. 4
Address	Skolebakken 9 2830 Virum
Lot area of school complex	ca. 2.000 m2

School building

Year of construction	1970
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	264 m2
Type of façade	Bended façade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	2
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced



DK10_Egeskolen Building Nr. 1,
Jonstrupvangvej 150 D, 3500 Værløse

School complex

Name	Egeskolen Building Nr. 1
Address	Jonstrupvangvej 150 D 3500 Værløse
Lot area of school complex	ca. 1.000 m2

School building

Year of construction	1778
Status as listed building	Yes
Gross Floor area/ Volume	80 m2
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Exhaust, natural



DK03_Rungstedsskolen Building Nr. 1, Østre Stationsvej 1 A, 2960 Rungsted Kyst

School complex

Name	Rungstedsskolen Building Nr. 1
Address	Østre Stationsvej 1 A 2960 Rungsted Kyst
Lot area of school complex	ca. 6.850 m2

School building

Year of construction	1953
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	ca. 150 m2
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	1
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced



DK04_Søndermarksskolen Building Nr. 1, Hoffmeyersvej 32, 2000 Frederiksberg

School complex

Name	Søndermarksskolen Building Nr. 1
Address	Hoffmeyersvej 32 2000 Frederiksberg
Lot area of school complex	ca. 2.800 m2

School building

Year of construction	1933 - 1934
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	ca. 150 m2
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced, natural



DK05_Kongevejens skole Building Nr. 1,
Kongsvænget 10, 2830 Virum1

School complex

Name	Kongevejens skole Building Nr. 1
Address	Kongsvænget 10 2830 Virum1
Lot area of school complex	ca. 8.050 m2

School building

Year of construction	1937
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	ca. 160 m2
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced



DK06_Trongårdsskolen Building Nr. 1,
Trongårdsvej 50, 2800 Kgs. Lyngby

School complex

Name	Trongårdsskolen Building Nr. 1
Address	Trongårdsvej 50, 2800 Kgs. Lyngby
Lot area of school complex	ca. 31.500 m2

School building

Year of construction	1959
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	ca. 560 m2
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	N/A
Number of floors	1
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced, exhaust



DK07_Kildegårds privat school Building Nr. 3, Kildegårdsvej 87, 2900 Hellerup

School complex

Name	Kildegårds privat school Building Nr. 3
Address	Kildegårdsvej 87 2900 Hellerup
Lot area of school complex	17.600 m ²

School building

Year of construction	1964
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	450 m ² / 1.485 m ³
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	1
Number/ area of typical classrooms	6/ 50,7 m ²
Energy demand for heating	1.040.000 kWh (whole building per year)
Heating system	District heating
Type of ventilation	Naturally on one side (mechanical not in use)



DK08_Sjælsøskolen Building Nr. 3, Ravnsnæsvej 120, 3460 Birkerød

School complex

Name and address of school	Sjælsøskolen Building Nr. 3
Address	Ravnsnæsvej 120 3460 Birkerød
Lot area of school complex	ca. 6.850 m ²

School building

Year of construction	1974
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	ca. 1.225 m ²
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	1
Number/ area of typical classrooms	N/A
Energy demand for heating	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Balanced

3. Submitted case study buildings of Austria



A01_Landesberufsschule Gleinstätten,
Gleinstätten 180, 8443 Gleinstätten

School complex

Name	Landesberufsschule Gleinstätten
Address	Gleinstätten 180 8443 Gleinstätten
Lot area of school complex	38.242 m ²

School building

Year of construction	1974
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	6.253 m ²
Type of façade	Bended façade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	11
Energy demand for heating calc.	100 kWh/m ² a
Heating system	CHS, fed by biomass and solar district heating
Type of ventilation	Naturally on one side



A02_Landesberufsschule Graz 7 und 8, Haus 12,
Hans-Brandstetter-Gasse 12, 8010 Graz

School complex

Name	Landesberufsschule Graz 7/8, Haus 12
Address	Hans-Brandstetter-Gasse 12, 8010 Graz
Lot area of school complex	41.490 m ²

School building

Year of construction	1968
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	7.130 m ²
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	25
Energy demand for heating calc.	117 kWh/m ² a
Heating system	CHS, fed by district heating
Type of ventilation	Naturally on one side



A03_Landwirtschaftliche Fachschule
Grottenhof-Hardt, Hardter Straße 27, 8052
Thal bei Graz

School complex

Name	Landwirtschaftliche Fachschule Grottenhof- Hardt
Address	Hardter Strasse 27 8052 Thal bei Graz
Lot area of school complex	12.132 m ²

School building

Year of construction	1955/ 1978
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	3.306 m ²
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	5
Energy demand for heating calc.	157 kWh/m ² a
Heating system	CHS, fed by biomass additionally fuel oil
Type of ventilation	Naturally on one side



A04_Fachschule für Land- und
Ernährungswirtschaft Haidegg, Ragnitzerstraße
193, 8047 Graz

School complex

Name	Fachschule für Land- und Ernährungswirtschaft Haidegg,
Address	Ragnitzerstrasse 193 8047 Graz
Lot area of school complex	19.081 m ²

School building

Year of construction	1964/ 1993 (Villa 1900)
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	727 m ²
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	2+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	4
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	CHS, fed by natural gas
Type of ventilation	Naturally on one side



A05_Land- und forstwirtschaftliche Fachschule
Kirchberg am Walde, Erdwegen 4, 8232
Grafendorf

School complex

Name	Landwirtschaftliche Fachschule Hatzendorf
Address	Hatzendorf 110 8361 Hatzendorf
Lot area of school complex	6.399 m ²

School building

Year of construction	1966 (Villa ca. 1900)
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	3.250 m ²
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2/3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	5
Energy demand for heating	N/A
Heating system	CHS, fed by biomass, district heating
Type of ventilation	Naturally on one side



A06_Landwirtschaftliche Fachschule
Hatzendorf, Hatzendorf 110, 8361 Hatzendorf

School complex

Name	Land- und forstwirtschaftl. Fachschule Kirchberg am Walde
Address	Erdwegen 4, 8232 Grafendorf
Lot area of school complex	10.594 m ²

School building

Year of construction	1984 – 1986
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	2.300 m ²
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	3
Number/ area of typical classrooms	5
Energy demand for heating meas.	97 kWh/m ² a
Heating system	CHS, fed by biomass
Type of ventilation	Naturally on one side

4. Submitted case study buildings of Switzerland



CH01_Schulanlage Spiegelfeld Nr. 7, Im Kugelfang 7, 4102 Binningen

School complex

Name	SA Spiegelfeld Nr. 7
Address	Im Kugelfang 7 4102 Binningen
Lot area of school complex	25.490 m2

School building

Year of construction	1962
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	4.087 m2/ 20.844 m3
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	14
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	District heating
Type of ventilation	Naturally on one side



CH02_Schulanlage Brislachstrasse Nr. 54, 4242 Laufen

School complex

Name	SA Brislachstrasse Nr. 54
Address	Brislachstrasse Nr. 54 4242 Laufen
Lot area of school complex	14.620 m2

School building

Year of construction	1963
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	930 m2/ 4.546 m3
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	2+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	5
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Naturally on one side



CH03_Schulanlage Hinterzweien Nr. 15,
Schützenhausstrasse 15, 4132 MuttENZ

School complex

Name	SA Hinterzweien Nr. 15
Address	Schützenhausstrasse 15 4132 MuttENZ
Lot area of school complex	18.112 m2

School building

Year of construction	1934
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	3.770 m2/ 18.423 m3
Type of façade	Skeleton façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2-3
Number/ area of typical classrooms	10
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Naturally on one side



CH04_Schulanlage Gründen Nr. 47,
Gründenstrasse 47b, 4132 MuttENZ

School complex

Name	SA Gründen Nr. 47
Address	Gründenstrasse 47b 4132 MuttENZ
Lot area of school complex	11.188 m2

School building

Year of construction	1955
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	6.184 m2/ 23.761 m3
Type of façade	Punctuated façade
Load bearing structure	Wall structure
Number of floors	2+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	16
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Naturally on one side



CH05_Schulanlage Fröschmatt Nr. 7,
Gartenstrasse 7, 4133 Pratteln

School complex

Name	SA Fröschmatt Nr. 7
Address	Gartenstrasse 7 4133 Pratteln
Lot area of school complex	17.510 m ²

School building

Year of construction	1973
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	3.897 m ² / 15.429 m ³
Type of façade	Bended facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	4+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	17
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Naturally on one side



CH06_Schulanlage Känelmatt II Nr. 11,
Känelmattweg 11, 4106 Therwil

School complex

Name	SA Känelmatt II Nr. 11
Address	Känelmattweg 11 4106 Therwil
Lot area of school complex	18.237 m ²

School building

Year of construction	1975
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	7.300 m ² / 31.229 m ³
Type of façade	Bended facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	21
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	N/A
Type of ventilation	Naturally on one side



CH07_Baeumlihofgymnasium, Spezialtrakt, Zu den drei Linden 80/82, 4058 Basel

School complex

Name	SA Bäumlihof Spezialtrakt
Address	Zu den drei Linden 80/82 4058 Basel
Lot area of school complex	67.027 m ²

School building

Year of construction	1972 - 1974
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	13.548 m ² / 31.229 m ³
Type of façade	Bended facade
Load bearing structure	Skeleton structure
Number of floors	5+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	76,1 m ²
Energy demand for heating calc.	N/A
Heating system	DH (comb. power plants)
Type of ventilation	Naturally on one side



CH08_Hirzbrunnenschulhaus , Zu den drei Linden 80, 4058 Basel

School complex

Name	SA Bäumlihof Primarschulhaus
Address	Zu den drei Linden 80 4058 Basel
Lot area of school complex	67.027 m ²

School building

Year of construction	1956
Status as listed building	No
Gross Floor area/ Volume	4.944 m ²
Type of façade	Skeleton facade
Load bearing structure	Wall/ skeleton structure
Number of floors	3+1 (basement)
Number/ area of typical classrooms	64 m ²
Energy demand for heat. calc./meas.	98,6/ 84,4 kWh/m ² a
Heating system	DH (comb. power plants)
Type of ventilation	Naturally on one side

5. Delimitation of WP2

- The building typology is a qualitative assessment of schools (1919 – 1980)
- School buildings with the status as a listed building have not been considered
- Other utilization than classroom use (e.g. sport complex...) was not analysed
- Only concepts with exterior insulation (integrated in prefabricated façade modules) have been taken into consideration

6. Explanation of used abbreviations

DH	District heating
CHS	Central heating system
EPC	Energy Performance Certificate
N/A	Not available
calc.	Calculated
meas.	Measured

7. Explanation of used terminology

Punctuated façade

Load bearing exterior wall, massive balustrade and lintel which are integrated in the load bearing structure (window distance in front of classroom > 60cm)

Skeleton façade

Load bearing exterior wall, massive or infilled (light construction) balustrade and lintel which are positioned between the vertical load bearing structure (window distance in front of classroom < 60cm)

Banded façade

Non load bearing exterior wall, massive or infilled (light construction) balustrade and lintel which are positioned in front of the load bearing structure

Anhang 2 Typologische Merkmalcheckliste

The features are divided into four focus areas:

- School complex
- School building
- Classroom
- Building technology

The typological unit is an individual school building.

Bold marked features have been used to form general types (position in construction, type of façade, number of floors) with the focus on guidelines for prefabricated façade modules

Italics marked features have been recorded to represent a holistic view on the renovation of school buildings in terms of the build structure

Feature	Characteristics	Remarks
Focus area School complex		
Name of school complex		
Address		
Distance to closest community or city center	- km	
Distance to closest public transportation	- m	
Number of buildings	- number	<i>all buildings in the school complex</i>
Number of school buildings	- number	<i>buildings with classrooms</i>
Community where the school is located	- city community - district community - agglomeration community - rural community	- city centre - community in the city suburbs - town directly on the outskirts of a city - village or small town in the countryside
Lot area of school complex	- m ²	<i>area of all plots belonging to the school complex</i>
Focus area School building		
Name of school building		
Address		
Type of school	- primary school (6-12 years) - secondary school level I (12-15 years) - secondary school level II (15-19 years) or vocational college - tertiary school level (over 19 years) university, college of higher education	<i>depending on national regulations</i>
Position in construction	- single building - middle building - end building	- freestanding building (within a school complex), four sided façade connections - integrated building (e.g. in a housing block), two sided façade connections - integrated building (e.g. in a housing block), three sided façade connections

<i>Description of the building volume</i>		
<i>Type of roof</i>	- pitched roof - flat roof	
<i>Type of access</i>	- central corridor - lateral corridor	
<i>Building footprints</i>	- m²	area occupied by buildings within the lot
<i>Year of construction</i>	- year	year of completion
<i>Value of the building</i>	- CHF or EUR	book value of the building
<i>Condition rating regarding building components</i>	- factor	referring to value loss, factor 1.00 equates to a new building
<i>History of the building</i>	- remedial measures e.g.	all maintenance and renovation measures to date
<i>Status as a listed building</i>	- listed - not listed	list of Buildings of Special Architectural or Historic Interest
<i>Building geometry</i>	- height in m - width in m - length in m	
<i>Building geometry</i>	- energy reference area in m² - envelope surface area in m² - envelope surface number according to SIA 380/1 - facade surface area in m² - roof surface area in m² - window and opaque surface area regarding orientation in m² - volume in m³ according to SIA 416	- area of all rooms within the thermal building envelope which must be heated or air-conditioned to be used (including walls and enclosed areas such as staircases, shafts, etc.) - area of the thermal building envelope (overall outside dimensions). The envelope surface area includes: surfaces towards the outside, the unheated space, the ground and in the case of adjoining buildings, towards the neighbouring heated space is not part of the thermal building envelope - envelope surface number is the ratio between the envelope surface area (A_{th}) and the energy reference area (A_E) - vertical envelope surface area towards outside - horizontal or sloping envelope surface area towards outside (earth, air, non heated space) - transparent & translucent envelope surface area (glass bricks) - volume of building

Floor area according to SIA 416	- floor area in m2 - main usable area in m2 - additional usable area in m2 - circulation area in m2 - building service area in m2 - structural area in m2 - floor area not fully enclosed in m2	- fully enclosed and covered ground plan area including walls - area of all rooms used specifically in connection with tuition (classrooms, staff room, laboratories; excluding walls) - area of all utility areas (toilets, caretaker's rooms, loft and cellar space) - floor access areas (entrance halls, stairs, corridors, lift shafts) - area for building technology systems (technical and mechanical equipment rooms, service and waste disposal shafts, tank rooms) - surface area of all walls (including doors and window niches unless already allocated to other areas) - areas used in addition to the fully enclosed and covered ground plan area
Type of façade (most common types are relevant)	- punctuated facade - skeleton facade - banded facade	suitability indication for prefabricated retrofit modules
Facade construction (most common Types are relevant)	- concrete - cavity brick - solid brick - wood or other light construction	
Structure of facade	- single-skin facade - double-skin facade	
Construction grid of facade	- m	
Description of balustrade, window and lintel area		Regarding orientation and floor level
Effect of the facade	- monolithic effect - tectonic effect - transparent effect	Regarding surface, arrangement and relation
Intermittent floors	- concrete - cavity brick - wood or other light construction	
Load bearing structure incl. dimensions of each floor level	- walls in m - supports (e.g. columns) in m - mixed	dimension and material
Wingspan of ceiling	- m	
Material of load bearing structure	- concrete - brick - wood or other light construction	
Natural hazard protection fulfilled	- earthquake - flooding - landslide - avalanche	answer in all cases with YES, NO or "natural hazard non-existent".
Number of Classrooms	- number	indication of the size of the school building

Number of persons	- number in total - number per m2 (regarding guidelines for school planning)	number of persons who use the school building at the same time during normal operation
Use requirements	flexibility of rooms (separable, mobile furniture) educational concept - standard education - private tutoring - team teaching - group work day school - after-school activities external use - community use of school premises (clubs, groups, municipal service, kindergarten...)	
Number of floors	- number above and below ground level	indication for the size of the school building
Height of floors	- m	for each floor
Number of staircases	- number	
Number of lifts	- number	
Barrier-free concept	- fulfilled - not fulfilled	also take building access through the school complex into consideration
Fire escape routes	- sufficient number - insufficient number	
Fire protection constructions	- fulfilled - not fulfilled	
Position of artificial lighting (could be interesting for corridors, assembly halls etc.)	- on one side - opposite - across corners - three-sided - above	
Type of ventilation	windows, controllable natural inlets - naturally on one side - naturally through air currents/cross ventilation extraction - mechanical, central - mechanical, decentralized	are parts of the building taller? can they be used as a natural ventilation shaft?
Focus area Classroom		
Dimensions	- length in m - width in m - height in m - area in m2	- distance along facade - clear dimension
Balustrade	- width in m - height in m - material	- upper edge of construction to upper edge of balustrade
Window	- width in m - height in m - distance between classrooms in m	- incl. window frame
Lintel	- width in m - height in m - material	- lower edge of construction to lower edge of lintel
Suspended ceiling	- m	
Window surface area regarding orientation	- m2	

<i>Opaque surface area regarding orientation</i>	- m2	
<i>Heated area</i>	- m2	(area with radiators, panel heating...)
<i>Shading possibilities</i>	- Type of sun screen device	
<i>Glare protection</i>	- curtains - exterior blinds - interior blinds	
<i>Position of lighting (daylight)</i>	- on one side - opposite - across corners - three-sided - above	
<i>Type of ventilation</i>	- naturally on one side - naturally through air currents/cross ventilation - mechanical	
<i>Occupancy</i>	- number of students per classroom - area per student	
<i>Time of use</i>	- school timetable - break times - times of other use of premises - after-school activities	
<i>Internal heat sources (not including pupils)</i>	- number of devices (computers, copiers, etc.) - number of lamps	description of devices, lamps, etc.
Focus areas		
Building technology		
<i>Energy consumption for heating</i>	- measured in kWh/m2a	
<i>Energy demand for heating</i>	- calculated in kWh/m2a	
<i>Energy source</i>	- oil - natural gas - electricity - solar energy - other types of environmental energy - waste heat recovery - wood	
<i>Energy conversion system</i>	- burner - CHP (combined heat and power) - heat pump - district heating system	
<i>Energy distribution</i>	- central heating system - individual rooms	
<i>Heating system</i>	- radiator (high-temperature) - under floor/wall/ceiling (low-temperature) - re-circulated air /convactor (air heating)	

Anhang 3 Ausgewählte Fallstudiengebäude

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Inhalt

1 Österreich

- 1.1 A01 Landesberufsschule Gleinstätten
- 1.2 A02 Landesberufsschule Graz 7 & 8

2 Belgien

- 2.1 B04 Schulanlage Stedelijke Basisschool „Columbia“, Antwerpen
- 2.2 B06 Schulanlage Frans Van Hombeeckplein, Antwerpen

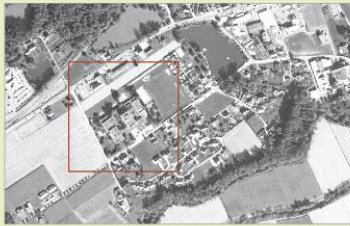
3 Schweiz

- 3.1 CH07 Schule Bäumlihofgymnasium (Spezialtrakt), Basel
- 3.2 CH08 Schule Hirzbrunnenschulhaus, Basel

4 Dänemark

- 4.1 DK01 Schulanlage Ny hollænder skolen, Frederiksberg
- 4.2 DK07 Schulanlage Kildegaards, Hellerup

KompeteZZentrum Typologie & Planung
in Architektur (CCTP)



Luftbild⁷



Lageplan¹



Grundrisse¹



Ansicht SW¹

1.1 A01_Landesberufsschule Gleinstätten

1.1.1 Fokusbereich Schulanlage

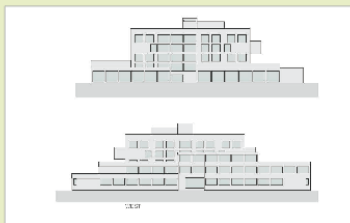
Name	Landesberufsschule Gleinstätten (LBS Gleinstätten)
Adresse	Gleinstätten 180, 8443 Gleinstätten
Schulart	Berufsschule
Schulanlage	freistehendes Schulgebäude mit Innenhöfen
Lage	Umgebung ist geprägt durch landwirtschaftlich genutzte Flächen und Einfamilienhausbebauungen
Grundstücksfläche	38242 m ²
Entfernung Zentrum	0.90 km
Entfernung ÖV	60 m (Bushaltestelle)
Anzahl der Gebäude	1

1.1.2 Fokusbereich Schulgebäude

Gebäudebezeichnung	N/A
Baujahr	1974
Gebäudetyp	- Kompakter Baukörper mit Patios - Sockelbau beinhaltet drei begrünte Innenhöfe
Dachform	Flachdach bekieset
Gebäudedimensionen	
Gebäuelänge	114.08 m
Gebäudetiefe	76.67 m
Gebäudehöhe	21.03 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	22108 m ²
Gebäudehüllzahl	1.11
Fensterflächen	1781 m ² (NO 476 m ² , SO 415 m ² , SW 425 m ² , NW 360 m ²)
Opake Wandflächen	3143 m ² (NO 643 m ² , SO 778 m ² , SW 923 m ² , NW 799 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl EG/OG	5
Geschossanzahl UG	1
Höhe UG, EG, EG, DG	3.10 m, 4.40 m, 3.10 m, 3.10 bzw. 3.40 m
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	Massive Wandscheiben (0.30 m - 0.62 m) aus Stahlbeton; umlaufende Lichtschächte zur Belichtung der Räume
Erdgeschoss	Massive Wandscheiben (0.30 m - 0.62 m) aus Stahlbeton
Obergeschoss	Konstruktion siehe Erdgeschoss (mit vorgelagertem Laubengang)
Deckenspannweite	12 m (Unterzüge)
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Band- / Lochfassade
Südostfassade	- EG: Durchlaufendes Brüstungsband aus Betonelementen (ca. 4.20 m x 1.20 m) - 1.OG und 3.OG: Laubengangfluchtweg mit rückversetzte Lochfassade und raum-hohen Fassadenöffnungen - 2.OG und 4.OG: Lochfassade (Brüstung ca. 0.75 m)
Wirkung	- Tektonische Wirkung durch die horizontale, geschichtete Bandstruktur - Rhythmisierung in vertikaler Richtung
Fassadenraster	4.20 m



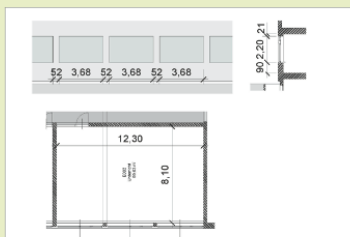
Südlicher Eingangsbereich¹



Fassadenabwicklung²



Westklasse EG¹



Typisches Klassenzimmer¹

Erschliessung

Erschliessungstyp

Korridortyp (einhüftiger- und zentraler Korridor)

Nutzung

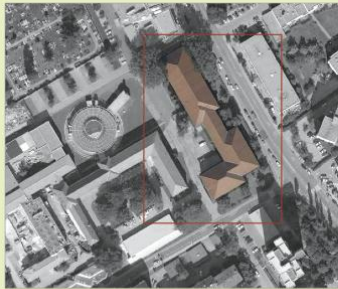
Grundfläche EG	6634 m ²
Energiebezugsfläche	19350 m ²
Geschossflächen	19863 m ²
Volumen	70201 m ³
Hauptnutzfläche HNF	10179 m ²
Klassenzimmer	1214 m ²
Gruppenräume	N/A
Fachräume	7919 m ²
Büroräume	319 m ²
Nasszellen	727 m ²
Nebennutzfläche NNF	1235 m ²
Stauräume	1235 m ²
Verkehrsfläche VF	4377 m ²
Funktionsfläche FF	513 m ²
Konstruktionsfläche KF	3558 m ²

1.1.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

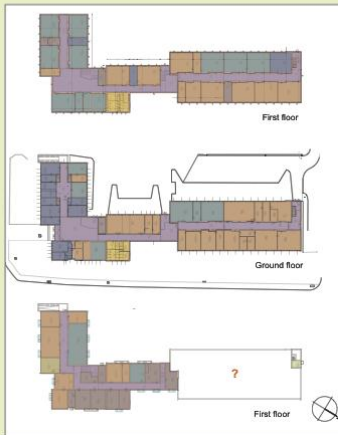
Länge/ Breite/ Höhe	12.30 m (Fassadenlänge des Raums) / 8.10 m / ca. 2.80 m
Grundfläche	100 m ²
Fensterflächen	25.74 m ² (West)
Opake Wandflächen	13.74 m ² (West)
Brüstungshöhe / Breite	0.90 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.45 m
Brüstungselement	Betonelemente (ca. 4.20 m x 1.20m)
Fensterhöhe/ Breite	2.20 m / 3.68 m
Fensterabstand	0.52 m
Sturzhöhe / Breite	0.21 m (UK Rohbau bis UK Sturz) / 0.45 m
Sturzelement	Betonelemente ca. (4.20 m x 0.60 m)
Decke abgehängt	0.11 m
Sonnenschutz	ausenliegende Storen
Verschattung	innenliegende Vorhänge

1.1.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

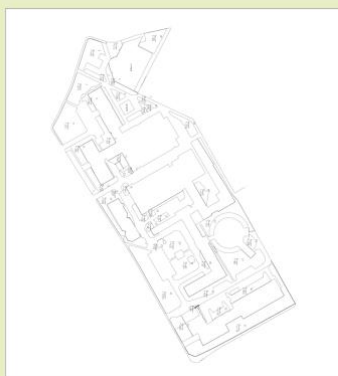
Heizenergieverbrauch	3.977.000 kWh/a (inkl. Warmwassererwärmung, alle Gebäude inkl. Arbeitsräume und Bäckerei, öffentliches Hallenbad, Sporthalle; angeschlossene Last: 700 kW)
Heizenergiebedarf	100 kWh/m ² a (nur Schulgebäude, berechnet 2009)
Elektrizitätsverbrauch	349.359 kWh/a – im Durchschnitt 2008 bis 2010 (nur Schulgebäude inkl. Arbeitsräume und Bäckerei)
Heizsystem	Zentralheizung
Energiequelle	Biomasse betrieben (Holz) und Fernwärme mit Solarthermie
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



Luftbild⁷



Grundrisse¹



Lageplan¹

Kompetezentrum Typologie & Planung
in Architektur (CTP)

1.2 A02_Landesberufsschule Graz 7 & 8

1.2.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Landesberufsschule Graz 7 und 8
Adresse	Hans-Brandstetter-Gasse 12, 8010 Graz
Schulart	Berufsschule
Schulanlage	mehreren freistehenden Schulgebäuden
Lage	- Umgebung: Gebäude mit unterschiedlicher Nutzungen und Bauformen; Friedhof St. Peter (Nord/West); Wohnhochhäuser und Mehrfamilienhäuser (Süd/Ost) - Haupterschliessung: Hans-Brandstetter-Gasse (Süd), Friedensgasse (Nord)
Grundstücksfläche	38242 m ²
Entfernung Zentrum	6 km (Hauptbahnhof); 3.0 km (Innere Stadt)
Entfernung ÖV	50 m
Anzahl der Gebäude	4

1.2.2 Fokusbereich Schulgebäude

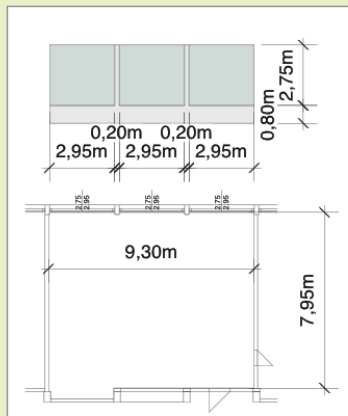
Gebäudebezeichnung	Haus 12
Baujahr	1968
Gebäudetyp	freistehender Komplex, in 4 Teilgebäude untergliedert
Dachform	Walmdach mit ca. 75 cm Überstand
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	Gesamtkomplex: 107.4 m
Gebäudetiefe	Gesamtkomplex: 40.40 m
Gebäudehöhe	14.40 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	8030 m ²
Gebäudehüllzahl	0.85
Fensterflächen	1400 m ² (NO 489 m ² , SO 221 m ² , SW 543 m ² , NW 147 m ²)
Opake Wandflächen	1914 m ² (NO 695 m ² , SO 246 m ² , SW 698 m ² , NW 275 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG/ 1 EG/ 2 OG
Höhe	je 3.60 m (Annahme Steigung 24 x 15 cm)
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	Massivbau, Wandscheiben aus Stahlbeton (Annahme: 0.30 m) Stützen 0.50 m / 0.30 m Lichtschächte im Bereich der Fenster
Erdgeschoss	Skelettbau Giebelseiten: Stahlbetonwandscheiben Längsseiten: Stahlbetonstützen 0.30 m x 0.38 m und 0.30 m x 0.70 m; Achsmass 3.15 m
Obergeschoss	entsprechend Erdgeschoss
Deckenspannweite	8.50 m
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	- Lochfassade (Giebel- und Sockelzonen) - Skelettfassade (Obergeschosszonen der Längsseiten)
Nord- / Südfassade (Längsseiten)	- Erdgeschoss: Lochfassade; Fensteröffnungen entsprechend Achsmass (2 Fenster pro Achsabstand) - Obergeschosse: Skelettfassade; Felder 3.00 m x 3.50 m (b/h) ausgefacht mit opaken Brüstungs- (h: ca.1.10 m) und Fensterelementen (h: ca. 2.40 m)
Ost- / Westfassade (Giebel)	alle Geschosse: Lochfassade; 3 raumhohe Fensteröffnungen entlang vertikaler Mittelachse; Abmessungen jeweils ca. 3.00 m x 3.50 m (b/h)



Hofseite Nord¹



Klassenzimmer Süd¹



Typisches Klassenzimmer¹

Wirkung

- Skelettfassade (Obergeschosszone der Längsseiten): tektonische Wirkung
- OG-Zone in Skelettbauweise; Fassade vertikal und horizontal in nahezu quadratische Felder gegliedert; grossflächige Ausfachung der Felder mit lichtdurchlässigen Fensterelementen verleiht diesem Fassadenbereich leichtes und lichtes Erscheinungsbild
- Lochfassade (Giebel- und Sockelzone): monolithische Wirkung; „schwerer“ Sockel, auf den die tektonisch leicht erscheinenden Skelettfassaden aufgesetzt sind

Fassadenraster

Fassadenabmessungen

3.15 m

Nord- / Südfassade (Längsseite): 25.70 m x 11.00 m (l/h)

Ost- / Westfassade (Giebelseite): 19.75 m x 11.00 m (l/h)

Erschliessung

Erschliessungstyp

Korridortyp (einhüftiger- und zentraler Korridor)

Nutzung

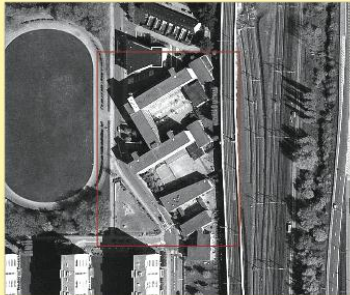
Grundfläche EG	2304 m ²
Energiebezugsfläche	N/A
Geschossflächen	8250 m ²
Volumen	29704 m ³
Hauptnutzfläche HNF	4997 m ²
Klassenzimmer	2190 m ²
Gruppenräume	N/A
Fachräume	2048 m ²
Büro Räume	545 m ²
Nasszellen	214 m ²
Nebennutzfläche NNF	467 m ²
Stauräume	467 m ²
Verkehrsfläche VF	1849 m ²
Funktionsfläche FF	56 m ²
Konstruktionsfläche KF	881 m ²

1.2.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

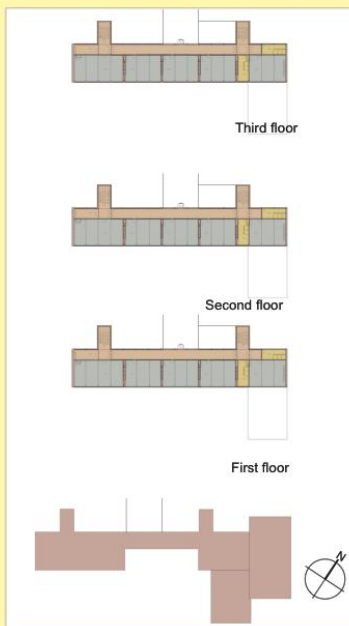
Länge/ Breite/ Höhe	9.30 m (Fassadenlänge des Raums)/ 7.95 m/ ca. 3.55 m
Grundfläche	74 m ²
Fensterflächen	24.3 m ² (Südwest)
Opake Wandflächen	8.50 m ² (Südwest)
Brüstungshöhe / Breite	1.10 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.30 m (Annahme)
Brüstungselement	opake Brüstungselemente (Ausfachungen der Skelettfassade)
Fensterhöhe/ Breite	2.40 m/ 3.00 m
Fensterabstand	0.20 m (Annahme)
Sturzhöhe / Breite	N/A
Sturzelement	N/A
Decke	0.10 m abgehängt (Annahme)
Sonnenschutz	aussenliegende Storen
Verschattung	innenliegende Vorhänge

1.2.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

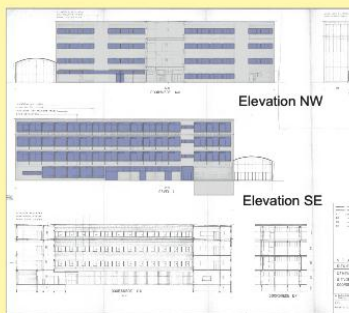
Heizenergieverbrauch	94 kWh/m ² a (Haus 12 inkl. Warmwasser, Anschlussleistung: 420 kW)
Heizenergiebedarf	117 kWh/m ² a
Elektrizitätsverbrauch	Alle Gebäude, inkl. Wohn- und Arbeitsräume: 921.807 kWh/a – Durchschnitt 2008 bis 2010, d.h. geschätzt 19 kWh/m ² a für “Haus 12”
Heizsystem	Zentralheizung mit Fernwärmeversorgung Graz
Energiequelle	4 Heizkraftwerke kombiniert mit Öl, Gas, Kohle und Solarthermie
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



Luftbild⁷



Grundrisse⁵



Ansichten⁵

2.1 B04 Schulanlage Stedelijke Basisschool „Columbia“, Antwerpen

2.1.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Stedelijke Basisschool „Columbia“
Adresse	Columbiestraat 4-8, 2060 Antwerpen
Schulart	Primarschule
Schulanlage	mehreren Gebäude, verbunden durch Stege oder Gebäuderiegel
Lage	- Umgebung; unterschiedliche Nutzungen und Bauformen; 8-geschos- sige Wohnbauten (Süd); Sportfeld sowie Gebäude mit industriellen Nutzungen (West) - Haupteinschliessung: Strasse Columbiestraat (West)
Grundstücksfläche	2868 m ²
Entfernung Zentrum	4.5 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	250 m
Anzahl der Gebäude	3

2.1.2 Fokusbereich Schulgebäude

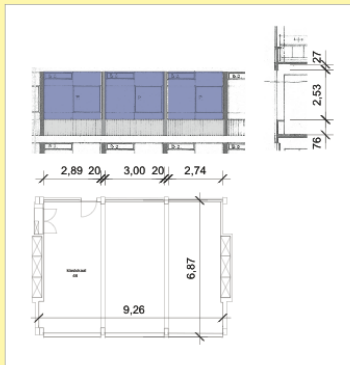
Gebäudebezeichnung	Gebäude Nr. 6
Baujahr	1961
Gebäudetyp	langgestreckter Riegel, verbunden mit Gebäuderiegel Nr. 8.
Dachform	Flachdach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	54.2 m
Gebäudetiefe	9.8 m
Gebäudehöhe	15.00 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	3457 m ²
Gebäudehüllzahl	1.28
Fensterflächen	713 m ²
Opake Wandflächen	1844 m ²
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG/ 1 EG/ 3 OG
Höhe	1.70 m UG/ 3.59 m EG/ 3.59 m OG
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	nicht verfügbar
Erdgeschoss	Skelettbau; Längsseiten (Nord/Süd) Stahlbetonstützen 0.20 m x 0.30 m; Achsmass 3.20 m; Giebelseiten (Ost/West) geschlossene Stahlbe- tonwandscheiben 0.45 m (Annahme)
Obergeschoss	entsprechend Erdgeschoss
Deckenspannweite	6.70 m
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Bandfassade (Längsseiten; N/S), geschlossene Fassade (Giebelseiten)
Nordfassade	- horizontal gegliederte Bandfassade; zweischalige Sturz- / Brüs- tungselemente verlaufen vor Stahlbetonstützen; Fensterelemente als Ausfachung zwischen Stahlbetonstützen befestigt; Achsmass 3.20 m - Fensterbänder 1.30 m hoch (Fensterflächenanteil 35%) - Brüstungs-/Sturz-Bänder 2.45 m hoch (Opakflächenanteil 65%) - aussen liegendes Treppenhaus; 15 m (h) x 3.20 m (b) x 5.90 m (t) - horizontal gegliederte Bandfassade; zweischalige Sturz- / Brüstungs- elemente und Fensterelemente als Ausfachung befestigt zwischen Stahlbetonstützen (Stahlbetonstützen sichtbar); Achsmass 3.20 m - Erdgeschoss; Felder zwischen Achsen 01-03, 08-18: Lochfassade - Erdgeschoss; Feld zwischen Achsen 03-08: Bandfassade; Fensterband 2.85 m hoch; Brüstungsband 0.90 m hoch - Obergeschosse: Bandfassade; Fensterbänder 2.55 m hoch (Fensterflä- chenanteil 68%); Brüstungs-/ Sturz-Bänder 1.20 m hoch (Opakflä-
Südfassade	



Ansicht⁶



Ansicht⁷



Typisches Klassenzimmer⁸

Ost- und Westfassade	chenanteil 32%)
Wirkung	- Ausnahme: Feld zwischen Achse 14-15; geschlossene Wandscheibe; erstreckt sich über drei Obergeschosse; 3 horizontale, etwa mittig in Bezug zur Höhe der Obergeschosse angeordnete Fensteröffnungen geschlossene Stahlbetonwandscheiben; 0.45 m (Annahme); Oberflächenmaterial: grau-braun-farbener Betonstein, Steinplatten (ca. 0.50 m x 0.30 m) angeordnet in wildem Verband; zweischalige Fassade
Fassadenraster	3.20 m
Fassadenabmessungen	Nord- / Südfassade: 54.20 m x 15.00 m
Ost- / Westfassade:	9.80 m x 15.00 m

Erschliessung

Erschliessungstyp	Korridortyp (einhüftiger- und zentraler Korridor)
-------------------	---

Nutzung

Grundfläche EG	828 m ²
Geschossflächen	2548 m ² (excl. UG)
Volumen	9349 m ³
Hauptnutzfläche HNF	1171 m ²
Klassenzimmer	N/A
Gruppenräume	N/A
Fachräume	N/A
Büoräume	N/A
Nasszellen	N/A
Nebennutzfläche NNF	772 m ²
Stauräume	N/A
Verkehrsfläche VF	723 m ²
Funktionsfläche FF	102 m ²
Konstruktionsfläche KF	N/A

2.1.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

Länge/ Breite/ Höhe	9.26 m (Fassadenlänge des Raums)/ 6.87 m/ ca. 3.55 m
Grundfläche	64 m ²
Fensterflächen	21.3 m ² (Südwest)
Opake Wandflächen	8.00 m ² (Südwest)
Brüstungshöhe / Breite	0.84 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.25 m
Brüstungselement	opake Brüstungselemente (rotbraun/weiss glasierte Klinker)
Fensterhöhe/ Breite	2.53 m / 3.00 m
Fensterabstand	0.25 m
Sturzhöhe / Breite	N/A
Sturzelement	N/A
Decke	sichtbare Unterzüge
Sonnenschutz	innenliegende Vorhänge
Verschattung	innenliegende Vorhänge

2.1.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

Heizenergieverbrauch	nicht verfügbar
Heizenergiebedarf	646 kWh/m ² a (EPC)
Elektrizitätsverbrauch	nicht verfügbar
Heizsystem	Zentralheizung mit Gasbrenner
Energiequelle	Erdgas, Elektrizität
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



Luftbild⁶



Luftbild⁶

2.2 B06 Schulanlage Frans Van Hombeekplein, Antwerpen

2.2.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Schulanlage Frans Van Hombeekplein
Adresse	Frans Van Hombeekplein 29, 2600 Antwerpen
Schulart	Kunstschule
Schulanlage	in Blockrandbebauung integriertes Gebäude
Lage	- Umgebung: Blockrandbebauungen; von Bäumen gesäumter Platz - Haupteinfahrt: Strasse Frans Van Hombeekplein (Ost), gute Zugänglichkeit; rückseitige Innenhofbereich nur durch Zufahrten in der Blockrandbebauung zu erreichen
Grundstücksfläche	1650 m ²
Entfernung Zentrum	4 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	250 m
Anzahl der Gebäude	1

2.2.2 Fokusbereich Schulgebäude

Gebäudebezeichnung	N/A
Baujahr	1970
Gebäudetyp	Teil einer 3 bis 4-geschossigen Perimeterbebauung eines dreieckigen Blocks; längere hofseitige Fassade als Strassenfront; beide Stirnseiten schliessen über Brandwände an die Nachbarbebauung an
Dachform	Flachdach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	22.00 m
Gebäudetiefe	N/A
Gebäudehöhe	10.40 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	8030 m ²
Gebäudehüllzahl	0.85
Fensterflächen	1400 m ² (NO 489 m ² , SO 221 m ² , SW 543 m ² , NW 147 m ²)
Opake Wandflächen	1914 m ² (NO 695 m ² , SO 246 m ² , SW 698 m ² , NW 275 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG/ 1 EG/ 2 OG
Höhe	3.30 m UG/ 3.30 m EG/ 3.30 m OGs
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	N/A
Erdgeschoss	Stahlbeton-Skelettkonstruktion mit Stahlbetonstützen (Achsmass: 3.10 m)
Obergeschoss	entsprechend Erdgeschoss
Deckenspannweite	N/A
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Skelettfassade
Ostfassade	- primäres Ordnungssystem der Skelettstruktur: vertikale Gliederung durch Lisenen entsprechend Achsmass (ganz: 3.10 m; halb: 1.55 m) - sekundäres Ordnungssystem der Skelettstruktur: horizontale Gliederung; Fenster- und Brüstungselemente als Ausfachung bilden Gebäudehülle weiteres und übergeordnetes Strukturprinzip: Betonung der Eingangssituation durch Mittelrisaliten; Breite über insgesamt drei ganze und zwei halbe Achsabstände (12.70 m) und in der Höhe über gesamte Gebäudehöhe (10.40 m) - Fassadenbereiche links und rechts des Risaliten sind 1 1/2 Achsabstände breit (4.65 m) - Risalit im Bereich des EG zu einem horizontalen Fassadenfeld zusammengefasst; Lisenen enden in diesem Teil der Fassade oberhalb des EG



Ansicht⁵



Ansicht⁶

Wirkung	- oberer Abschluss der Fassade: deutlich artikuliertes (ca. 0.50 m hervortretendes) Dachgesims; tritt im Mittelteil der Fassade zusammen mit Risaliten aus Gebäudeffucht hervor tektonische Wirkung prägendes und ordnendes Element ist Gitterstruktur aus hell-grauem Betonstein; Ablesbarkeit der Geschossstruktur; vertikale Rhythmisierung; Ablesbarkeit des statischen Prinzips des Skelettbau; Ausfachungen (sowohl massive in der Sockelzone als auch leichte in den Obergeschossen) vermitteln durch Farbgebung und durch leichtes Zurücksetzen Eindruck einer nachträglichen Füllung des Skeletts und einer möglicherweise unaufwändigen Austauschbarkeit
Fassadenraster	1.55 m bzw. 3.10 m
Fassadenabmessungen	22.00 m (Länge) x 10.40 m (Höhe)

Erschliessung

Erschliessungstyp	N/A
-------------------	-----

Nutzung

Grundfläche EG	N/A
Geschossflächen	1366 m ²
Volumen	N/A
Hauptnutzfläche HNF	1120 m ²
Klassenzimmer	N/A
Gruppenräume	N/A
Fachräume	N/A
Büroräume	N/A
Nasszellen	N/A
Nebennutzfläche NNF	251 m ²
Stauräume	N/A
Verkehrsfläche VF	625 m ²
Funktionsfläche FF	23 m ²
Konstruktionsfläche KF	N/A

2.2.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

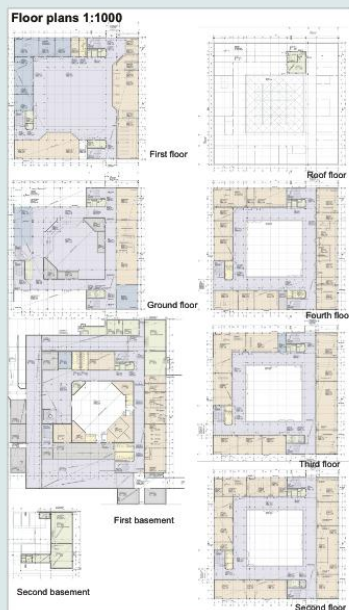
Länge/ Breite/ Höhe	N/A
Grundfläche	N/A
Fensterflächen	N/A
Opake Wandflächen	N/A
Brüstungshöhe / Breite	1.10 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.30 m (Annahmen)
Brüstungselement	opakes Brüstungselement als Teil des Fenterelements
Fensterhöhe/ Breite	2.80 m (Breite) x 2.00 m (Höhe) oder 1.25 m (Breite) x 2.00 m (Höhe)
Fensterabstand	0.30 m (Breite Lisenen)
Sturzhöhe / Breite	0.50 m
Sturzelement	N/A
Decke abgehängt	N/A
Sonnenschutz	innen liegende Vorhänge
Verschattung	innen liegende Vorhänge

2.2.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

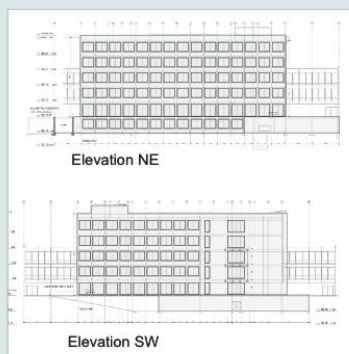
Heizenergieverbrauch	N/A
Heizenergiebedarf	225 kWh/m ² a (EPC)
Elektrizitätsverbrauch	N/A
Heizsystem	Zentralheizung mit Gasbrenner
Energiequelle	Erdgas, Elektrizität
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



Luftbild⁷



Grundrisse²



Fassadenabwicklung²

3.1 CH07 Schule Bäumlihofgymnasium (Spezialtrakt), Basel

3.1.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Bäumlihofgymnasium (Spezialtrakt)
Adresse	Zu den drei Linden 80/82, 4058 Basel
Schulart	Gymnasium
Schulanlage	mehrere Gebäude, Spezialtrakt verbunden durch Brückenbauten
Lage	- Umgebung: landwirtschaftlich genutzte Flächen, Einfamilienhausgebiete und Reihenhäuser; Bahnlinie (Süd); Sportanlage (Ost) - Hupterschliessung: Strasse Zu den drei Linden (Nord); Gotenwegli (Ost); das Primarschulhaus Hirzbrunnen ist auch vom Hofbereich zu erreichen; die rückseitige Erschliessung der verbundenen Gebäude ist auf Fahrzeuge mit einer Durchfahrthöhe von ca. 3m limitiert.
Grundstücksfläche	67027 m ²
Entfernung Zentrum	4 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	230 m
Anzahl der Gebäude	6

3.1.2 Fokusbereich Schulgebäude

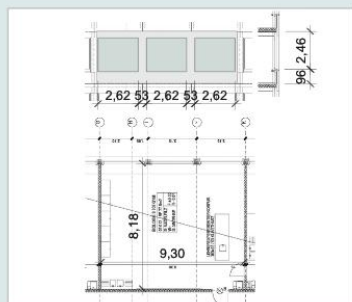
Gebäudebezeichnung	Spezialtrakt
Baujahr	1972
Gebäudetyp	Das Gebäude mit quadratischem Grundriss hat ein Atrium, das durch einen gäsernen Dachaufbau belichtet wird. Das Erdgeschoss springt an 2 Gebäudesseiten zurück bildet Kolonnaden in den Eingangsbereichen. Flachdach
Dachform	Flachdach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	48.90 m
Gebäudetiefe	47.85 m
Gebäudehöhe	18.95 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	10346 m ²
Gebäudehüllzahl	0.76
Fensterflächen	1555 m ² (NO 526 m ² , SO 343 m ² , SW 343 m ² , NW 343 m ²)
Opake Wandflächen	2233 m ² (NO 449 m ² , SO 600 m ² , SW 600 m ² , NW 584 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG/ 1 EG/ 4 OG
Höhe	3.60 m UG/ 3.60 m EG/ 3.60 m OG
Tragkonstruktion	- Skelettbauweise; tragende Stahlbetonwände und Stahlbetonstützen System aus 3 unterschiedlich grossen Quadraten - inneres Quadrat (24.15 m x 24.15 m); mittleres Quadrat (32.55 m x 32.55 m); äusseres Quadrat (48.30 m x 47.25 m) - aussteifende Stahlbetonwandscheiben (0.30 m) im Bereich der Trep- penhaus-/Sanitärkerne
Untergeschoss	Stahlbetonwände (0.30 m), Stahlbetonstützen (0.30 m x 0.30 m und 0.45 m x 0.45 m; Achsmass: 3.15 m)
Erdgeschoss / Obergeschosse	Stahlbetonwände (0.30 m), Stahlbetonstützen (0.30 m x 0.30 m; Achsmass: 3.15 m)
Deckenspannweite	7.35 m bzw. 8.40 m
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Bandfassade (vorfabrizierte Betonelemente)
Nord- / Südfassade	- beide Fassaden spiegelverkehrt; Achsen 6-24 EG: Kolonnadensockel mit Stahlbetonstützen (0.30 m x 0.30 m; Achsmass: 3.15 m) - Achsen 6-24 OGs: Bandfassade; Brüstungs-/Sturzbänder (1.35 m h); Betonelemente (1.35 m h x 3.15 m b); vor Stahlbetonstützen; Fensterbänder (2.25 m h); Fensterelemente als Ausfachung zwischen



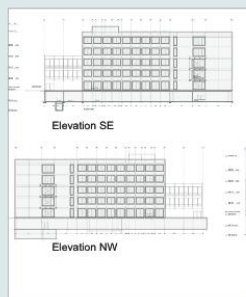
Ansicht²



Innenhof²



Typisches Klassenzimmer²



Fassadenabwicklung²

	Stahlbetonstützen
	- Achsen 24-37: geschlossen; tragende, aussteifenden Stahlbetonwände (0.30 m); Achsen 29-31 raumhohe Öffnungen. (3.00m x 4.20m)
Ostfassade:	- EG: raumhohe Fensterelemente
	- OG's: Bandfassade; Brüstungs-/Sturzbänder (1.35 m h); Betonelemente (1.35 m h x 3.15 m b); vor Stahlbetonstützen; Fensterbänder (2.25 m h); Fensterelemente als Ausfachung zwischen Stahlbetonstützen analog zu Nord- und Südfassade; EG Achsen C-G: Kolonnade; EG Achsen G-N: raumhohe Fensterelemente ohne Brüstungen
Westfassade:	
Wirkung	tektonische Wirkung; Kolonnaden im EG und zwischen Fenstern sichtbare Pfosten zeigen Konstruktionsprinzip; Brüstungsbänder als vorgehängte Haut; Fensterelemente als Ausfachung zwischen Stützen
Fassadenraster	3.15 m
Fassadenabmessungen	Nord- / Südfassade: 48.30 m (Länge) x 18.95 m (Höhe) Ost- / Westfassade: 47.25 m (Länge) x 18.95 m (Höhe)

Erschliessung

Erschliessungstyp

Hallentyp (Korridore um zentral gelegenes Atrium)

Nutzung

Grundfläche EG	1909 m ²
Geschossflächen	13548 m ²
Volumen	31229 m ³
Hauptnutzfläche HNF	5035 m ²
Klassenzimmer	N/A
Gruppenräume	N/A
Fachräume	4281 m ²
Büroräume	536 m ²
Nasszellen	218 m ²
Nebennutzfläche NNF	600 m ²
Stauräume	600 m ²
Verkehrsfläche VF	6114 m ²
Funktionsfläche FF	800 m ²
Konstruktionsfläche KF	999 m ²

3.1.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

Länge/ Breite/ Höhe	9.3 m (Fassadenlänge des Raums)/ 8.18 m / ca. 3.05 m
Grundfläche	76.1 m ²
Fensterflächen	17.3 m ² (Nordwest)
Opake Wandflächen	4.1 m ² (Nordwest)
Brüstungshöhe / Breite	0.90 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.22 m
Brüstungs-/Sturzelement	Betonelemente (1.35 m x 3.15 m)
Fensterhöhe/ Breite	2.25 m / 2.85 m
Fensterabstand	0.53 m
Sturzhöhe / Breite	0.25 m
Sturzelement	
Decke	0.27 m abgehängt
Sonnenschutz	ausenliegende Storen
Verschattung	ausenliegende Storen

3.1.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

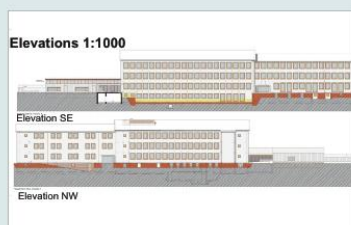
Heizenergieverbrauch	N/A
Heizenergiebedarf	N/A
Elektrizitätsverbrauch	N/A
Heizsystem	Fernwärmeversorgung
Energiequelle	Kombikraftwerk
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



Luftbild⁷



Grundrisse²



Fassadenabwicklungen²

3.2 CH08 Schule Hirzbrunnenschulhaus, Basel

3.2.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Schule Hirzbrunnenschulhaus
Adresse	Zu den drei Linden 80, 4058 Basel
Schulart	Primarschule
Schulanlage	mehrere Gebäude, Gebäude der Mittelstufe sind mit Spezialtrakt des Bäumlihofgymnasiums durch Brückenbauten verbunden
Lage	- Umgebung: landwirtschaftlich genutzte Flächen, Einfamilienhausgebiete und Reihenhäuser; Bahnlinie (Süd); Sportanlage (Ost) - Haupteinschliessung: Strasse Zu den drei Linden (Nord); Gotenwegli (Ost); das Primarschulhaus Hirzbrunn ist auch vom Hofbereich zu erreichen; die rückseitige Erschliessung der verbundenen Gebäude ist auf Fahrzeuge mit einer Durchfahrthöhe von ca. 3m limitiert.
Grundstücksfläche	67027 m ²
Entfernung Zentrum	4 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	230 m
Anzahl der Gebäude	6

3.2.2 Fokusbereich Schulgebäude

Gebäudebezeichnung	Hirzbrunnenschulhaus
Baujahr	1956
Gebäudetyp	zwei unterschiedliche, stumpf aneinander stossende Riegel
Dachform	Satteldach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	Gesamt: 82.00 m, Geb.01: 47.00 m, Geb.02: 35.00 m
Gebäudetiefe	Gesamt: 17.00 m, Geb.01: 17.00 m, Geb.02: 12.00 m
Gebäudehöhe	Geb.01: 15.50 m, Geb.02: 14.00m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	5617 m ²
Gebäudehüllzahl	1.14
Fensterflächen	713 m ² (NO 7 m ² , SO 447 m ² , SW 28 m ² , NW 231 m ²)
Opake Wandflächen	1844 m ² (NO 255 m ² , SO 649 m ² , SW 228 m ² , NW 712 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG/ 1 EG/ 2 OG
Höhe	3.50 m UG/ 3.70 m EG/ 3.70 m OG
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	Massivbau
(Gebäude 1 und 2)	aussen: Stahlbetonwände (Annahme: 0.30 m)
Erdgeschoss	Massivbau
(Gebäude 1)	- aussen: Nord-, Ost- und Westfassade: Lochfassade mit tragen-den Mauerwerkswänden (Annahme: 0.30 m); Südfassade: Elementfassade mit tragenden Stahlbetonstützen (Achsmass: 2.30 m) - innen: tragende Mauerwerkswände (Annahme: 0.30 m); verlaufen entlang Gebäudelängsrichtung; flankieren ca. 4 m breiten Korridor - tragende Schottenwände aus Mauerwerk oder Stahlbeton (Annahme: 0.20 m - 0.30 m) liegen vereinzelt auf Querachsen
Erdgeschoss	Massivbau
(Gebäude 2)	aussen: Lochfassade mit umlaufend tragenden Mauerwerkswänden (Annahme: 30 cm)
Obergeschoss	entsprechend Erdgeschoss
Deckenspannweite	7.50 m
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Lochfassade (Nordfassade, Geb. 1 & 2; Südfassade, Geb. 2)
	Skelettfassade (Südfassade, Geb. 1)



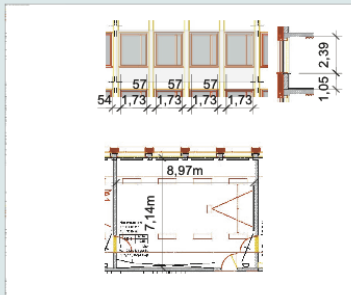
Ansicht²



Ansicht²



Klassenzimmer²



Typisches Klassenzimmer²

Nordfassade	(Gebäude 1 und 2) Lochfassade; Achsmass: 2.30 m; Fenster: 2.30m x 2.00m (h/b); oberer Abschluss: ca. 0.75 m Dachüberstand
Südfassade:	(Gebäude 1) Skelettfassade, Achsmass: 2.30m; zwischen Fenster liegende Pfosten treten aus Fassadenebene, bilden geschossübergreifende Lisenen; Fenster: 2.30 m x 2.00 m (h/b); Sturz- / Brüstungselemente (h: 1.40 m) als Ausfachungen zwischen Lisenen
Südfassade: (Gebäude 2)	Lochfassade; Achsmass: 2.30 m Fensteröffnungen: 2.30 m x 2.00 m (h/b); oberer Abschluss durch ca. 75cm messenden Dachüberstand
Wirkung	monolithischer Wirkung (N/S); massiven Wandscheibe, mit eingestanzten Fenstern; tektonischer Wirkung (Gebäude 1, Süd)
Fassadenraster	2.30 m
Fassadenabmessungen	Nord- / Südfassade (Längsseite, Gebäude 1): 47.0 m x 11.8 m (l/h) Nord- / Südfassade (Längsseite, Gebäude 2): 35.0 m x 11.3 m (l/h)

Erschliessung

Erschliessungstyp Korridorotyp, zentral (Gebäude 1) und einhüftig (Gebäude 2)

Nutzung

Grundfläche EG	1236 m ²
Geschossflächen	4944 m ²
Volumen	22004 m ³
Hauptnutzfläche HNF	2588 m ²
Klassenzimmer	769 m ²
Gruppenräume	675 m ²
Fachräume	789 m ²
Büroräume	225 m ²
Nasszellen	130 m ²
Nebennutzfläche NNF	260 m ²
Stauräume	260 m ²
Verkehrsfläche VF	1375 m ²
Funktionsfläche FF	158 m ²
Konstruktionsfläche KF	563 m ²

3.2.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

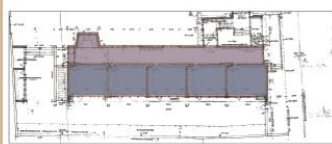
Länge/ Breite/ Höhe	8.97 m (Fassadenlänge des Raums) / 7.14 m / ca. 3.34 m
Grundfläche	64 m ²
Fensterflächen	14.5 m ² (Südost)
Opake Wandflächen	15.8 m ² (Südost)
Brüstungshöhe / Breite	1.05 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.25 m
Brüstungselement	opake Brüstungselemente (Ausfachungen der Skelettfassade)
Fensterhöhe/ Breite	2.30 m/ 2.00 m
Fensterabstand	0.57 m
Sturzhöhe / Breite	0.10 m
Sturzelement	Klinker
Decke	Stahlbetondecke; nicht abgehängt
Sonnenschutz	innen liegende Vorhänge (Annahme)
Verschattung	innen liegende Vorhänge (Annahme)

3.2.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

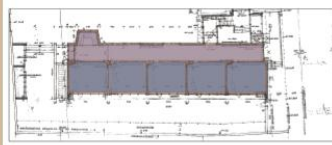
Heizenergieverbrauch	84.4 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	98.6 kWh/m ² a
Elektrizitätsverbrauch	N/A
Heizsystem	Fernwärmeversorgung
Energiequelle	Kombikraftwerk
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	Fensterlüftung



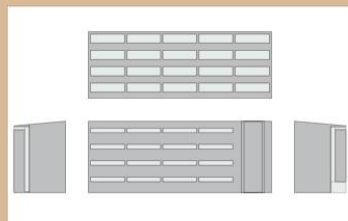
Luftbild⁷



First floor (assumption)



Grundrisse^{2,4}



Fassadenabwicklung²

4.1 DK01 Schulanlage Ny hollænder skolen, Frederiksberg

4.1.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Schulanlage Ny hollænder skolen
Adresse	Hollændervej 3, 1855 Frederiksberg
Schulart	Primarschule
Schulanlage	mehreren Schulgebäuden, in offene Blockrandbebauung integriert
Lage	- Umgebung: Blockrandbebauungen, welche sich z.T. in einzelne Baukörper auflösen; an das Schulgelände anschliessende 7- geschossige Wohnbauten (Süd) - Haupteinschliessung: Strasse Hollændervej (Nord), zusätzliche Verbindung auf der Gebäuderückseite zur Strasse Amicisvej
Grundstücksfläche	5900 m ²
Entfernung Zentrum	2.2 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	170 m
Anzahl der Gebäude	4

4.1.2 Fokusbereich Schulgebäude

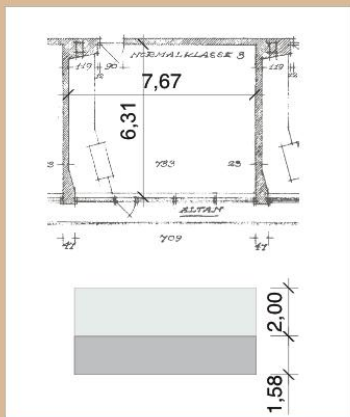
Gebäudebezeichnung	Gebäude Nr. 1
Baujahr	1970
Gebäudetyp	Ergänzungsbau, rechtwinklig an die östliche Giebelseite, eines aus dem späten 19. Jh stammenden Schulgebäudes, angefügt. Es schiebt sich orthogonal zur Strassenflucht zwischen eine rudimentäre Blockrandbebauung (westlich) und eine Reihung von Stadtviellen (östlich). Damit schliesst es baulich einen nach Osten offenen Block. Pultdach / Flachdach
Dachform	Pultdach / Flachdach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	30.00 m
Gebäudetiefe	10.50 m
Gebäudehöhe	14.00 m
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	2409 m ²
Gebäudehüllzahl	0.72
Fensterflächen	456 m ² (N 22 m ² , O 299 m ² , S 16 m ² , 119 m ²)
Opake Wandflächen	1104 m ² (N 150 m ² , O 290 m ² , S 155 m ² , 509 m ²)
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 EG/ 3 OG
Höhe	3.30 m EG/ 3.30 m OG
Tragkonstruktion	
Erdgeschoss	Schottenwände aus Stahlbeton; Achsmass 6.00 m in Längsrichtung verlaufende Stahlbetonwand (beidseitig des Korridors)
Obergeschoss	entsprechend Erdgeschoss
Deckenspannweite	6.00 m
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Bandfassade (West); geschlossene Fassade (Nord / Süd)
Westfassade	- Bandfassade (Längsseite) als Schichtung 4 horizontaler Loggien-Bänder - jedes Loggien-Band erstreckt sich über volle Gebäudelänge (30.00 m) und über die volle Geschosshöhe (3.00 m) - Schottenwände (aus gelb geflammtem Backstein) im Achsmass 6.00 m untergliedern Horizontalbänder vertikal - eigentliche Aussenhülle des Gebäudes befindet sich ca. 1.00 m von Vorderkante der Geschossdecken zurückgesetzt - äusserste Fassadenebene: senkrechte Stirnseiten der flankierenden Giebelwände & horizontale Bänder der Gitterstab-Brüstungen



Ansicht¹



Klassenzimmer¹



Typisches Klassenzimmer¹

Nord- / Südfassade

Wirkung

Fassadenraster

Fassadenabmessungen

Erschliessung

Erschliessungstyp

Nutzung

Grundfläche EG

Geschossflächen

Volumen

Hauptnutzfläche HNF

Klassenzimmer

Gruppenräume

Fachräume

Büroräume

Nasszellen

Nebennutzfläche NNF

Stauräume

Verkehrsfläche VF

Funktionsfläche FF

Konstruktionsfläche KF

- Abschluss der obersten Loggia bildet ein sich bis auf die Brüstungsebene vorschiebendes Pultdach

geschlossene Wandscheiben, aus gelb-geflamtem Backstein
vertikales, über die gesamte Gebäudehöhe reichendes Fensterband

- primäre (horizontale) Gliederung durch Horizontalbänder
- Horizontalbänder beschrieben durch Geschossdecken, Loggien-Brüstungen; begrenzt durch Giebelwände

- sekundäre (vertikale) Gliederung durch Wechsel von nach aussen tretenden Schotten und dazwischen gefügten Fensterelementen; Achsmass (6.00 m)

6.00 m

Westfassade: 30.00 m (Länge) x 14.00 m (Höhe)

Nord- / Südfassade: 10.50 m (Länge) x 14.00 m (Höhe)

Korridor (einhüftiger Korridor)

425 m²

1699 m²

5612 m³

918 m²

N/A

N/A

N/A

N/A

N/A

N/A

521 m²

N/A

260 m²

4.1.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

Länge/ Breite/ Höhe

7.67 m (Fassadenlänge)/ 6.31 m/ ca. 3.60 m

Grundfläche

43 m²

Fensterflächen

15.00 m² (West)

Opake Wandflächen

12.00 m² (West)

Brüstungshöhe / Breite

0.80 m (OK Rohbau bis OK Brüstung)/ 0.175 m

Brüstungselement

opake Brüstungselemente aus Faserzement

Fensterhöhe/ Breite

2.30 m/ 7.09 m

Fensterabstand

0.47 m

Sturzhöhe/ Breite

N/A

Sturzelement

N/A

Decke

0.10 m abgehängt (Annahme)

Sonnenschutz

Laubengang 0.78 m überstehend, innenliegende Vorhänge

Verschattung

innenliegende Vorhänge

4.1.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

Heizenergieverbrauch

N/A

Heizenergiebedarf

N/A

Elektrizitätsverbrauch

N/A

Heizsystem

Fernwärmeversorgung

Energiequelle

N/A

Energieverteilung

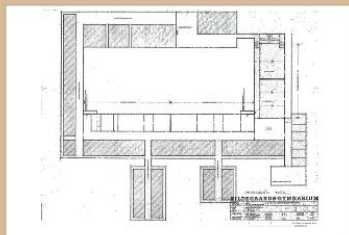
Radiatoren

Lüftungsart

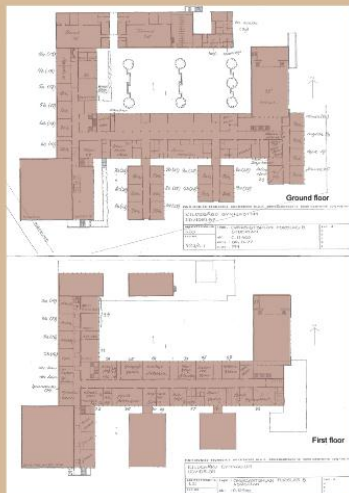
zentrale Lüftungsanlage (ausser Betrieb)



Luftbild⁷



Lageplan⁸



Grundrisse¹

4.2 DK07 Schulanlage Kildegaards, Hellerup

4.2.1 Fokusbereich Schulanlage

Name	Schulanlage Kildegaards
Adresse	Kildegårdsvej 87, 2900 Hellerup
Schulart	Privatschule
Schulanlage	mehrere untereinander verbundene Schulgebäude
Lage	- Umgebung: Reihen- und Einfamilienhäuser; Gentofte Seamus Krankenhaus (Nord-Ost) - HAUPTerschliessung: zweispurige Strasse Kildegårdsvej (Nord), zwei Anschlüsse zur Strasse Lyngbyvej (West)
Grundstücksfläche	17600 m ²
Entfernung Zentrum	8.5 km (Hauptbahnhof)
Entfernung ÖV	260 m
Anzahl der Gebäude	1

4.2.2 Fokusbereich Schulgebäude

Gebäudebezeichnung	Gebäude Nr. 3
Baujahr	1964
Gebäudetyp	mehreren untereinander verbundene Teile; bilden einen an der Nordostecke offenen Block. Aus südlicher Richtung schliessen die Gebäudeteile rechtwinklig an, woraus eine kammförmige Erscheinung resultiert.
Dachform	Flachdach
Gebäudedimensionen	
Gebäudelänge	102.70 m / 66.60 m (OW / NS-Ausdehnung Gesamtkomplex)
Gebäudetiefe	zwischen 16.25 m (Nordflügel) und 20.70 m (Südflügel)
Gebäudehöhe	zwischen 3.50 m (1-geschossig) und 7.00 m (2-geschossig)
Gebäudehülle	
Gebäudehüllfläche	N/A
Gebäudehüllzahl	N/A
Fensterflächen	N/A
Opake Wandflächen	N/A
Geschossaufbau	
Geschossanzahl	1 UG / 1 EG / 1 OG
Höhe	3.30 m je Geschoss
Tragkonstruktion	
Untergeschoss	Massivbau massive Stahlbeton-Wandscheiben (Dicke: 0.35 m) verstärkt durch Stahlbetonstützen (0.35 m x 0.35 m); Achsmass 4.00 m
Erdgeschoss	- Skelettbau (Stahlbetonstützen in Fassadenebene und im Innenbereich); (0.20 m x 0.35 m); Achsmass 2.00 m - Massivbau (tragenden Stahlbetonwänden entlang Querachsen im Innenbereich)
Obergeschoss	entsprechend 2-geschossiger Gebäudebereiche im Erdgeschoss
Deckenspannweite	8.35 m / 6.65 m (je nach Klassenraumtiefe)
Fassadenkonstruktion	
Fassadentyp	Skelettfassade Stahlbetonstützen 0.20 m x 0.35 m; Achsmass 2.00 m; bilden vertikale Gliederung; oberer und unterer Abschluss: horizontale, ca. 0.50 m hohe Stahlbetonbänder; Rücksprung Ausfachung zu Stützen ca. 0.10 m; durch die Stützen und Geschossdecken aufgespannte Felder messen 3.00 m x 2.00 m (h/b); Ausfachungen: zweigeteilte Fensterelemente (keine vor den Stützen verlaufenden Brüstungselemente)



Ansicht⁷



Ansicht⁸



Klassenzimmer⁴



Klassenzimmer⁴

Wirkung	- vertikale tragende Elemente prägen Erscheinungsbild - horizontale (oben und unten abschliessende) Bänder bilden sekundäre Ordnung; bei dem resultierenden Gitter liegt Akzentuierung auf der Vertikalen - gläserne Ausfachung der Skelettstruktur bildet mit ihrer Filigranität und glatten Textur einen Kontrast zum steinernen und schweren Erscheinungsbild des Skelettes
Wirkung	sehr klar ablesbar: tragende Funktion der „schweren“ Stahlbeton-Stützen und die einhüllende Funktion der „leichten“ Ausfachungen
Fassadenraster	2.00 m
Fassadenabmessungen:	- nach aussen gekehrte Fassadenflächen des Gesamtkomplexes: - Nordfassade: 1-geschossig 80.60 m (Länge) x 3.50 m (Höhe) - Südfassade: 2-geschossig 102.7 m (Länge) x 7.00 m (Höhe) - Ostfassade: 2-geschossig 50.70 m (Länge) x 7.00 m (Höhe) - Westfassade: 2-geschossig 66.60 m (Länge) x 7.00 m (Höhe)

Erschliessung

Erschliessungstyp	Korridortyp (einhüftiger- und zentraler Korridor)
-------------------	---

Nutzung

Grundfläche EG	11 716 m ²
Geschossflächen	13 548 m ²
Volumen	44 708 m ³
Hauptnutzfläche HNF	N/A
Klassenzimmer	N/A
Gruppenräume	N/A
Fachräume	N/A
Büroräume	N/A
Nasszellen	N/A
Nebennutzfläche NNF	N/A
Stauräume	N/A
Verkehrsfläche VF	N/A
Funktionsfläche FF	N/A
Konstruktionsfläche KF	N/A

4.2.3 Fokusbereich Klassenzimmer (typisches Klassenzimmer)

Länge/ Breite/ Höhe	7.80 m (Fassadenlänge)/ 6.50 m/ ca. 3.30 m
Grundfläche	50.7 m ²
Fensterflächen	13.44 m ² (Ost)
Opake Wandflächen	7.68 m ² (Ost)
Brüstungshöhe/ Breite	0.90 m (OK Rohbau bis OK Brüstung) / 0.45 m
Brüstungselement	Glas oder Faserzement (Ausfachungen der Skelettfassade)
Fensterhöhe/ Breite	2.10 m/ 1.80 m
Fensterabstand	0.20 m (Annahme)
Sturzhöhe / Breite	N/A
Sturzelement	N/A
Decke	0.10 m abgehängt (Annahme)
Sonnenschutz	innenliegende Storen
Verschattung	innenliegende Storen

4.2.4 Fokusbereich Gebäudetechnik

Heizenergieverbrauch	N/A
Heizenergiebedarf	N/A
Elektrizitätsverbrauch	N/A
Heizsystem	Fernwärme
Energiequelle	N/A
Energieverteilung	Radiatoren
Lüftungsart	kontrollierte Lüftungsanlage

Quellen

- 1 **AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC)**, experience of building renovations and innovative sustainable technologies - Project Leader _ www.aee-intec.at _ Contact person: Armin Knotzer, Sonja Geier
- 2 **Hochschule Luzern Technik & Architektur (HSLU)**, Competence Centre of Typology and Foresight in Architecture (CCTP), Switzerland, competence in building typologies _ www.hslu.ch _ Contact person: Thomas Heim
- 3 **Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)**, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institute of energy in building, Switzerland, experienced in prefabrication processes _ www.fhnw.ch _ Contact person: René Kobler, Ralf Dott
- 4 **DTU Technical University of Denmark**, Civil Engineering - Building Physics and Services (DTU – BPS), Denmark, new types of ventilation and passive cooling systems _ www.byg.dtu.dk _ Contact person: Christian Anker Hviid
- 5 **Passiefhuis-Platform vzw (PHP)**, Flanders, stands for high energy efficient building standards _ Contact person: Irena Kondratenko, Jeroen Poppe, Johan Cré, Marc Van Praet (International project officer Schoolventcool: Masterplanning school buildings, brings in education know-how)
- 6 © 2012 Microsoft Corporation
- 7 © 2012 Google

Anhang 4 Bauperioden der 50er, 60er und 70er Jahre

Bauperiode der 50er Jahre



Abbildung 78: Fallstudie CH08 als Beispiel für die Bauperiode der 50er Jahre

Schulanlage

Freiräume

Die Frei- und Grünräume und die Schulhöfe sind sowohl bei ebenerdigen Schulen in Stadterweiterungsgebieten als auch bei mehrgeschossigen innerstädtischen Schulen grosszügig bemessen.

Städtebauliche Struktur

In Stadterweiterungsgebieten als freistehende Gebäude inmitten der Freiräume. Die Schulen sind niedrige Gebäude, die ihre städtebauliche Wirkung durch die Dominanz am eigenen Grundstück entfalten. Dadurch, dass Schulfreiräume durch Zäune und Hecken abgeschlossen sind und die Nachbarschaft keinen Zutritt auf die Freiräume hat, wirken die großen Schulareale oft als trennendes Element im Stadtquartier.

Schulgebäude

Bautypus

Die funktionale Schularchitektur der frühen Nachkriegsmoderne ist eingeschossig bis maximal zweigeschossig, häufig auch „Flachbau“ genannt. Durch Platzierung der Trakte werden die Freiräume definiert und gegliedert. Neu im Raumprogramm sind Pausenhallen beim Eingang und vereinzelt auch Freiluftklassen.

Erschließung

Die Erschließung der Klassenzimmertrakte ist einhüftig. Die Schulbauten verfügen über einen zentralen Eingangsbereich mit Stiege und Pausenhalle, an den die Klassenzimmertrakte andocken. Die Klassen sind einseitig gereiht entlang der Gänge. Durch Platzierung der Trakte werden die Freiräume definiert und gegliedert. Neu im Raumprogramm sind kleinere Pausenhallen und -flächen meist in Verbindung mit dem zentralen Stiegenhaus.

Konstruktion: wesentliche räumabschließende Bauteile

Die Bautechnologie ist in dieser Zeit immer noch stark dominiert von traditionellen Bauweisen. Die Mangelwirtschaft der Wiederaufbauzeit zwingt zu sehr sparsamem Einsatz von Material, ganz besonders bei der Bewehrung von Stahlbetondecken und Mauerwerksstärken. Die Bauausführung ist arbeitsintensiv und erfolgt weitgehend mit traditionellen Handwerkstechniken. Die Baukonstruktionen der 50er Jahre zeichnen sich durch minimale Konstruktionshöhen und durch einen schlechten Wärmedämmstandard aus (Ziegelmauerwerk, Normal-, Hoch- und Langlochziegel; Einsatz von Stahlbeton bei Deckenbauteilen).

Klassenzimmer

Raumgeometrie

Die Klassenzimmergröße bleibt mit ca. 65 m² konstant, es überwiegt die rechteckige Form des Zimmers. Allerdings wird die Möblierung in Publikationen in unterschiedlichen Varianten der Aufstellungen gezeigt.

Gebäudetechnik

Rund 50% der Wärmeverluste werden über die Decken nach oben und die Decken nach unten verloren. Die Decke nach unten weist zudem bautypologisch gesehen ein schlechtes Sanierungspotenzial (Raumhöhen, schützenswerte Oberflächen) auf.

Bauperiode der 60er Jahre



Abbildung 79: Fallstudie CH02 als Beispiel für die Bauperiode der 60er Jahre

Schulanlage

Freiräume

Die Wahl des Schulgeländes nach Prinzipien bzw. der Schulbaucharta der UIA (Union Internationale des Architectes) aus dem Jahre 1958 folgt wie in der vorigen Bauperiode den funktionalistischen städtebaulichen Prinzipien. Das Gebäude soll gemäß der Charta in Bezug auf Sonne, Regen und vorherrschende Winde; einer angenehme Lage zur Aussicht, zu vorhandener oder neu zu schaffender Vegetation orientiert sein. Der Bezug zum Freiraum ist in Typologien dieser Baualtersklasse trotz höherer Bauten nach wie vor sehr stark. Freiluftklassen werden teilweise immer noch errichtet.

Städtebauliche Struktur

Freistehende Solitärbauten, in Stadterweiterungsgebieten als Teil der „Nachbarschaft“. Bei neuen Schulen in historischen Stadtzentren werden diese in die bestehende Bebauungsstruktur eingefügt.

Schulgebäude

Bautypus

In der späten Nachkriegsmoderne wird das Schulgebäude größer und höher. Die gegliederte Traktstruktur wird beibehalten, dennoch werden Schulbauten in dieser Epoche zunehmend kompakter. Immer mehr gewinnt die rationelle Bauweise mit Fertigteillementen an Bedeutung. Auch der Umgang mit dem Baugrund wird effizienter. Die Flachbauschule beziehungsweise eingeschossige Pavillonschule der Wiederaufbauzeit wird ersetzt durch mehrgeschossige Bauten.

Erschließung

Einhüftige Erschließung bei Klassenzimmertrakten

Konstruktion: wesentliche räumabschließende Bauteile

Typisch für diese Bauperiode ist die langsam einsetzende Innovation in der Bautechnologie, insbesondere die Stahlbetonskelettbauweise, das statische Prinzip der tragenden Schotten sowie die ersten Bauwerke errichtet in Fertigteilbauweise. Beim Bauen wird die Arbeit statt dem Material zum Kostenfaktor, die Ersparnisse werden nun zunehmend in rationellen Bauweisen gesucht. Die Literatur und innovative Konzepte dieser Zeit beschäftigen sich mit unterschiedlichen Fertigteilbauweisen (niederländisches System BCT, Hamburger Kreuz mit vorgefertigten Betonbauteilen, System Interconstruct aus Wien, das englische System Clasp). In den Jahren vor der Energiekrise wird das Thema der Wärmedämmung kaum beachtet. Holzwolleleichtbaudämmplatten (Markenname Heraklith) werden eher als Putzträger und weniger als Wärmedämmung eingesetzt. Fundamente Stahlbetonfundamente als Streifenfundamente.

Bauphysikalische Bestandsaufnahme der Gebäudehülle

Diese meist mehrgeschossige Schultypologie ist ähnlich der frühen Nachkriegsmoderne in verschiedene unterkellerte Trakte gegliedert. Meist zentrale Stiegenhäuser in Stahl-Glas Konstruktionen, welche die verschiedenen Trakte miteinander verbinden. Die Ökonomische Bauweise verbindet sich mit der Wahl neuer Baumaterialien. Beginnende Systembauweise (Stahlbetonskelettbauweise) und Montagebauweise bei Nichtwohngebäuden. Die Baukonstruktionen unterliegen schon den normierten Bedingungen des Schall- und Wärmeschutzes.

Klassenzimmer

Raumgeometrie

Normgröße 65 m, teilweise gibt es auch quadratische Klassenzimmer. Die natürliche Belichtung der Klassenzimmer ist in der Regel einseitig, teilweise auch zweiseitige Belichtung über Gangoberlichten.

Gebäudetechnik

Aufgrund der Öffnung der Stiegenhäuser und der Erschließungsflächen (Stahl-Glas-Konstruktionen) erhöht sich der Verlust über die transparenten Bauteile. 70% des Wärmeverlustes werden über die Außenwände und über die transparenten Bauteile abgegeben.

Bauperiode der 70er Jahre



Abbildung 80: Fallstudie A01 als Beispiel für die Bauperiode der 70er Jahre

Schulanlage

Freiräume

In Stadterweiterungsgebieten sind Freiräume weitläufig und grosszügig. Teilweise auch Gestaltung von Freiräumen als Freiluftarena mit Sitzstufen.

Städtebauliche Struktur

Schulneubau erfolgt hauptsächlich in Stadterweiterungszonen. Die Lage der Schulbauten ist zentral und die Anlagen verfügen über gut dimensionierte Grundstücke mit genügend Frei- und Grünraum sowie mit Potenzial für Erweiterung.

Schulgebäude

Bautypus

Die Bautypologie, die sich Anfang der 1970er Jahre im Schulbau durchsetzt und zur dominierenden Bauform wird, ist die Hallenschule beziehungsweise auch die Gruppe von Hallenschulen als Schulzentrum. Das Schulgebäude verliert am Ende der 60er Jahre den Bezug zu der Nachbarschaft und zum Freiraum. Das Gebäude selbst wird kompakt. Der offene Grundriss (keine Unterscheidung zwischen Erschließung, Pausenfläche und Klassenzimmer) wird bei besonders innovativen Schulen eingeführt. Die typische Hallenschule ist zweigeschossig und sehr kompakt. Die Klassenzimmer, Sonderunterrichtsräume und die Verwaltung sind rund um die zentrale Halle mit mittiger Stiege und umlaufenden Gängen angeordnet. Die zentrale Halle wird von oben belichtet. Größere Hallenschulen verfügen über zusätzliche Atrien und mehrere Trakte angedockt an die zentrale Halle. Ähnlich strukturiert sind Schulzentren.

Erschließung

Bei Hallenschulen erfolgt die Erschließung im Erdgeschoß über die Halle selbst, im Obergeschoß gibt es Galeriegänge. Bei Schulen mit dezentralen Hallenzonen erfolgt der Zugang zu den Klassenzimmern über die Halle. Die zentrale Halle dient auch als Hauptfluchtweg.

Konstruktion: wesentliche räumabschließende Bauteile und bauphysikalische Bestandsaufnahme der Gebäudehülle

Die vorherrschenden Konstruktionen sind Ortbetonbauweise als Scheiben- und Skelettbauweise sowie Fertigteilbauweisen vorwiegend aus Stahlbetonfertigteilen und -systemen, selten als Stahlbetonskelette. Die Merkmale und die Rasterstruktur der Stahlbeton-Fertigteilbauweise sind in den Vorgaben und Raumgrößen in den Schulbaurichtlinien der

Stadt Wien, die Anfang der 70er Jahre erstmals publiziert werden, klar erkennbar. Sehr kompakte große Strukturen, meist Hallentypologie. Die zentrale Halle wird meist von oben belichtet. Die Ortbeton- oder Fertigteildecken werden mit schwimmendem Estrich ausgeführt, wobei die Trennung durch Polystyrol oder Mineralwolle erfolgt. Bauordnungen und Normierung geben mindesterforderliche U-Werte vor. Über die Maßtoleranzen ist mit Undichtigkeiten in der Gebäudehülle zu rechnen

Klassenzimmer

Raumgeometrie

Rechteckige Klassenzimmer, Fläche bis 65 m² Belichtung der Klassenzimmer: einseitig, teilweise auch zweiseitig.

Gebäudetechnik

Homogene Verteilung der Verluste über die gesamten Hüllflächen.