

Erneuerung von Schulgebäuden mit modular vorfabrizierten Fassadenelementen inklusive Lüftung

René L. Kobler, Ralf Dott

Institut Energie am Bau – FHNW, 4132 Muttenz, rene.kobler@fhnw.ch, www.fhnw.ch/iebau

Thomas Heim

CC Typologie und Planung – HSLU, 6048 Horw, thomas.heim@hslu.ch, www.hslu.ch/cctp

Zusammenfassung

Abstract

Im internationalen Projekt SchoolVentCool, im Rahmen des Eracobuild-Programms, ist das Ziel bei bestehenden Schulgebäuden die Raumluft- und Tageslichtqualität als auch die Energieeffizienz zu verbessern. Dies soll mit der Anwendung von vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierter Lüftungstechnik erreicht werden.

Dazu wurden die Erfahrungen mit vorfabrizierten Fassadenmodulen mit integrierten Lüftungsleitungen für zu erneuernde Mehrfamilienhäuser (CCEM-Advanced Retrofit) auf Schulgebäude übertragen. Der höhere, flächenspezifische Frischluftbedarf in Schulgebäuden führt zu einer stärkeren Auswirkung von fassadenintegrierten Lüftungsleitungen auf die Architektur und somit zu einem zweiten, erforderlichen Lösungsweg mit dezentraler Frischluftversorgung. Unter Anwendung einer typologischen Analyse kann zwischen zwei Lösungswegen entschieden werden, die vorwiegend auf den Kriterien des „kritischen Weges der Frischluftversorgung“ basieren. An einem Demonstrationsprojekt konnte die Machbarkeit der modularen, fassadenintegrierten Lüftungsführung für ein Objekt, das aus einem Wohnhaus mit angegliederten Schulungsräumen besteht, gezeigt werden.

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

Hence, the experience with prefabricated façade elements with integrated ventilation ductwork for the renewal of dwellings (CCEM-Advanced Retrofit) has been transferred to school buildings. The increased specific fresh air demand in school buildings leads to a stronger impact on architectural appearance and herewith to a required second solution with decentralised fresh air supply. A typological analysis helps to decide between two solution pathways, that base predominantly on the criteria of the “critical path of fresh air supply”. One realised demonstration object, a single family house with attached school rooms, shows the feasibility of the façade integrated centralised ventilation solution.

1. SchoolVentCool

Energetische, gesellschaftliche und bildungspolitische Entwicklungen erfordern eine Anpassung der Schule. Ganzheitliche Sanierungsstrategien betreffen auch das gesamte System "Schulhausgebäude" inklusive Energieversorgung, Lüftung und Kühlung, als auch den thermischen Komfort. Sie haben zum Ziel, das Gebäude auf heutige und künftige Bedürfnisse anzupassen und "fit" zu machen. Im Rahmenprogramm ERACOBUILD tauschen im Forschungsprojekt „SchoolVentCool“ [1] die Länder Belgien, Dänemark, Österreich und Schweiz Grundlagen dazu aus. Ziel des schweizerischen Teams, bestehend aus Typologie (CCTP), Bautechnik (IEBau) und Haustechnik (IEBau), ist das im IEA-Projekt Annex 50 erarbeitete Wissen im Bereich Typologie und Vorfabrikation für zu erneuernde Mehrfamilienhäuser im Rahmen von ERACOBUILD international auszutauschen, auf Schulgebäude zu adaptieren und anhand konkreter Fallbeispiele weiter zu entwickeln. Schulgebäude nehmen im Gebäudepark der öffentlichen Hand aufgrund ihrer zentralen, integrativen Nutzung eine besondere Rolle ein. Eine energetische Erneuerung dieses Gebäudeparks auf den Stand zwischen Minergie und Minergie-P hat Vorbildfunktion und kann dadurch wichtige Impulse auslösen. Lernwelten der Zukunft sind raumklimatisch optimiert und verfügen über eine Atmosphäre, in der die Lehrenden und Lernenden ihr Leistungspotenzial optimal entfalten können.

Die angestrebten Lösungswege fokussieren sich auf Gebäude, wo die vorfabrizierten Fassadenmodule von aussen her montierbar sind und die Lüftung integrierter Bestandteil ist. Das Projekt startete im Oktober 2010 und wird im Februar 2013 enden. Es wird durch das Bundesamt für Energie finanziert.

2. Vorgehen

Die Grundlagen für die Weiterentwicklung für Schulhäuser basieren auf dem von der Typologie erarbeiteten Rahmenbedingungen und den speziellen haustechnischen Anforderungen bei Schulgebäuden. In internationaler Zusammenarbeit soll das Konzept auch auf andere Länder angepasst und anwendbar sein, respektive wichtige, neue Erkenntnisse in das eigene System einfließen.

Das Projekt ist in vier Arbeitspakete gegliedert:

1. KnowHow-Austausch zwischen IEA Annex 50 und ERACOBUILD Forschungspartnern um den Wissensstand anzugleichen.
2. Typologische Analyse, Fallbeispiele und ableiten von Guidelines für die technische Entwicklung von Modulen und Optimierung von Bauprozessen.
3. Adaption und Weiterentwicklung der Fassaden- und Dachmodule aus IEA Annex 50 [2] an die spezifischen Anforderungen von Schulgebäuden.
4. Synthesebericht (Februar 2013)

Allgemeine Abgrenzung:

Das Konzept aus dem IEA Annex 50 beruht vollständig auf dem Prinzip der Aussendämmung. Im vorliegenden Projekt werden keine Lösungen mit Innendämmung untersucht. Der Untersuchungsgegenstand des vorliegenden Projekts sind nicht schützenswerte Bauten und Anlagen. Das vorliegende Projekt adaptiert die im IEA Annex 50 entwickelte typologische Methode und die vorfabrizierten Hüllsysteme für Mehrfamilienhäuser und überträgt diese Erkenntnisse auf Schulgebäude. Andere Nutzungstypen werden nicht untersucht.

3. Resultate

Die Resultate entstanden im Austausch und Zusammenarbeit mit den verschiedenen Ländern. Disziplinübergreifender, institutionalisierter, internationaler Austausch mit Kompetenzträgern im In- und Ausland führte zu den im Folgenden dargelegten Erkenntnissen.

3.1 Frischluftbedarf

Die Ausgangslage für die vorfabrizierte Fassadenmodulkonstruktion mit integrierter Lüftung basiert auf den in [2] beschriebenen Lösungen für den Mehrfamilienhausbau. Schulbauten unterscheiden sich in der erforderlichen Frischluftmenge erheblich. Diese beträgt in Schulräumen zwischen 25 und 30 m³/h/Person [3], [4], wobei im Raum von einer Mischluftsituation ausgegangen werden muss. Bei typischen Klassengrössen zwischen 20 und 26 Kindern plus ein bis zwei Lehrpersonen ergibt sich daraus ein Frischluftbedarf für einen Klassenraum von 525 – 840 m³/h. Bei einem Klassenraum von 10 m Fassadenlänge und 7 m Raumbreite bedeutet das einen spezifischen Frischluftbedarf von 7.5 - 12 m³/h/m²_{Grundfläche} oder 53 - 84 m³/h/m_{Fassadenlänge}.

3.2 Anpassung der Module aus CCEM-advanced retrofit

Mit dem übernommenen Ansatz, die Lüftungsleitungen fassadenintegriert zu führen, ergeben sich für Schulgebäude aufgrund der grösseren, notwendigen Rohrdurchmesser (im Bereich 0.2 - 0.3 m) Auswirkungen auf die Architektur des Gebäudes. Die Bereiche der vertikalen Rohrführungen prägen das Fassadenbild so stark, dass diese kaum so als Lösung gelten können. Das Problem ist, dass mit diesen Dimensionen die Fensterbereiche „zugedeckt“ werden, vor allem bei mehrstöckigen Gebäuden. 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 Abbildung 1 sind diskutierte Rohrführungen in der Fassade und ihre Auswirkung schematisch dargestellt. In Abweichung der vertikalen Einzelrohrlösung bei den CCEM-Modulen kann die Situation etwas entschärft werden, indem die Räume mit Sammelrohren, unter Berücksichtigung der besonderen Brandschutzbestimmungen, erschlossen werden.

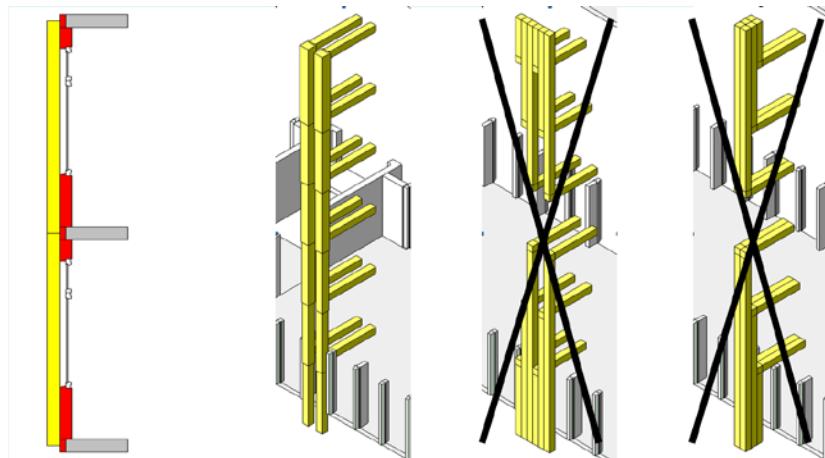


Abbildung 1 links Fassadenschnitt mit vorgehängten Modulen, rechts: diskutierte Rohrführungen in der Fassade



Aufgrund der eingeschränkten Übertragbarkeit wurde ein neuer Ansatz zur Versorgung der Schulräume mit Frischluft über die Fassade angegangen. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des daraufhin gewählten Denkansatzes. Zentrale Fragestellung war, wie viel Frischluft bezüglich Belegungsdichte oder Raumbreite mit einer zur Verfügung stehenden Fassadenfläche bedient werden kann.

Aus diesen Grundüberlegungen konnten nun Zusammenhänge zwischen typologischen Kriterien und konstruktiven Kriterien gesucht werden.

Abbildung 2 Fähigkeit einer Fassadenfläche zur Versorgung eines notwendigen Frischluftbedarfs

3.3 Typologie

Die Gebäudemeerkmale für Schulgebäude sind in einem Merkmalkatalog zusammengefasst, welcher eine Sammlung relevanter Charakteristiken von Schulgebäuden in der Gebäudeerneuerung enthält. Über 70 Gebäudemeerkale sind in diesem Katalog erfasst und in vier Fokusbereiche gegliedert: Schulanlage, Schulgebäude, Klassenzimmer und Gebäudetechnik. Fokusbereiche sind funktionale, zusammenhängende Teile des Gebäudes (z.B. Gebäudehülle, Gebäudeumgebung, Erschliessung). Jeder Fokusbereich ist gekennzeichnet durch eine Auswahl von Gebäudemeerkmalen, welche für die Erneuerung mit vorfabrizierten Fassadenmodulen wichtig sind [5]. Diese Gebäudemeerkale werden unterschieden in Leit- und Fokusmerkmale.

Im Projekt werden die Leitmerkmale Fassadentyp, Geschossanzahl und Bauperiode anhand der eingereichten Fallstudien untersucht. Mit dem Fassadentyp wird die Konstruktion der Aussenwand charakterisiert, welche ein relevantes Merkmal für die Entwicklung der vorfabrizierten Fassadenmodule darstellt. Die Bauperiode gibt einen Hinweis auf die mögliche Konstruktionsart und den Stand der Technik zur Entstehungszeit, die Anzahl der Geschosse gibt einen Anhaltspunkt zur Grösse- und zum Bautypus der Schulgebäude. Die Leitmerkmale werden auf drei einfache und allgemein zu erfassende Kriterien beschränkt, um eine schnelle Zuordnung der Schulgebäude zu gewährleisten. Aus Kombination der Ausprägungen von Leitmerkmale lassen sich Gesamttypen ableiten, welche eine Kategorisierung (im Sinne der Zielsetzung) von Gebäuden repräsentieren. Verwendet werden Gesamttypen um einen Überblick eines Gebäudebestandes zu erhalten. Ausserdem lassen sich häufig vorkommende Gebäudetypen, mit dem für die Erneuerung hohen Multiplikationspotenzial, identifizieren und anhand von Referenzbeispielen beschreiben. Theoretisch können 27 Gesamttypen durch die drei Leitmerkmale, mit 9 Varianten, kombiniert werden.

Schnittstelle Typologie und Konstruktion/ Lüftung

Fokusmerkmale beschreiben die, für die technische Entwicklung vorfabrizierter Fassadenmodule, relevanten Gebäudeteile des Gebäudebestands. Diese beinhalten die Charakterisierung der Brüstungs- und Sturzsituation, der Fassadenöffnungen, sowie der Raumgeometrie typischer Klassenzimmer.

Mit der Brüstungs- und Sturzsituation wird der zur Verfügung stehende Raum für die Lüftungsverteilung in der Aussenwand erfasst, wobei die Konstruktion der Aussenwand die Möglichkeit der Durchdringung bestimmt. Die Auswertung der Fassadenöffnungen nimmt den Fassadentyp- und die Lage der Fassadenöffnungen zueinander, bzw. zu Gebäudeaussenkanten, auf. Mit der Analyse der Raumgeometrie wird die Raumlänge (fassadenseitig) typischer Klassenzimmer erfasst, um den zur Verfügung stehenden Platz für Einzelraumlüftungsgeräte zu evaluieren. Die Raumhöhe der Klassenzimmer gibt darüber Auskunft ob der bestehende Raum mit einer abgehängten Decke zur Lüftungsverteilung ausgestattet werden kann.

Aus Kombination der Ausprägungen oben beschriebener Fokusmerkmale lassen sich Fokustypen ableiten, welche spezifische Kategorien von Gebäudeteilen repräsentieren. Damit werden grundsätzliche Typen vorfabrizierter Fassadenmodule aufgezeigt, welche eine erste Einschätzung einer möglichen Lüftungsverteilung erlauben.

3.4 Lüftung und Konstruktion

Zentrale Lüftungsanlage mit vertikalem Verteilsystem

Das limitierende Kriterium für den Einsatz einer zentralen Lüftungsanlage mit vertikalem Verteilsystem in den Fassadenmodulen, wie in Abbildung 1 dargestellt, ist der erforderliche Platzbedarf in vertikaler Richtung der Fassadenebene, sowie die Brüstungs- und Sturzsituation. Mit dem vertikalen Verteilsystem können z.B. Räume welche an einer Bandfassade gelegen sind nicht direkt über die Aussenwand bedient werden. Dieser Lüftungstyp eignet sich deshalb für Gebäude in Massivbauweise mit einer Lochfassade, mit der Bedingung, dass der Abstand zwischen den Fenstern die vertikale Lüftungsführung erlaubt.

Zentrale Lüftungsanlage mit vertikalem- und horizontalem Verteilsystem

Die relevanten Merkmale entsprechen der zentralen Lüftungsanlage mit vertikalem Verteilsystem. Engstehende- oder zusammenhängende Fassadenöffnungen, welche die vertikale Verteilung blockieren, können in Kombination mit der horizontalen Verteilung gelöst werden (z.B. Gebäude in Skelettbauweise mit Bandfassaden). Für die horizontale Verteilung sind vor allem Sturz- und Brüstungshöhe relevant, sowie aufgrund der Dimensionen eine kreuzungsfreie Führung der Lüftungsleitungen. Abbildung 3 zeigt zwei schematische Lösungsansätze für die horizontale Verteilung und Raumanbindung.

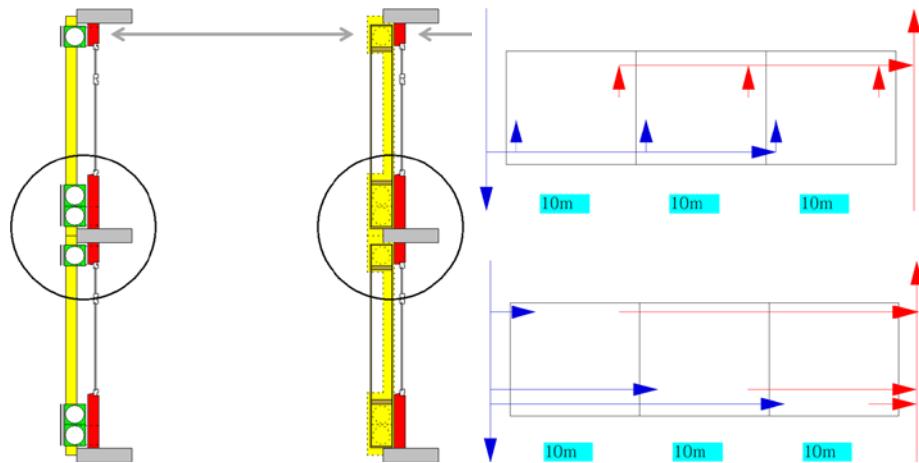
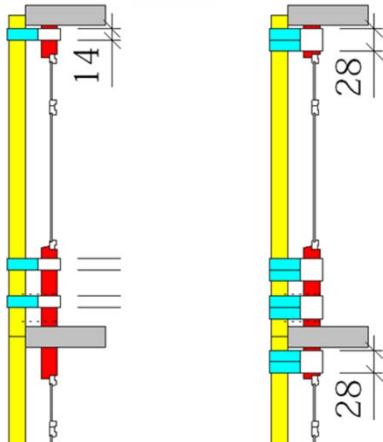


Abbildung 3 Zentrale Lüftung mit geringerer Auswirkung auf Architektur und horizontaler Luftleitung

Dezentrale Lüftungsanlage als Einzelraumlüftung



Dezentrale Lüftungsanlagen als Einzelraumlüftungen können im Sturzbereich oder im Sturz- und Brüstungsbereich platziert werden, wobei die Einbauhöhen und die konstruktiven Merkmale der Außenwand die limitierenden Kriterien darstellen (siehe Abbildung 4). Einzelraumlüftungen sind weniger für massive als für nichttragende Außenwandkonstruktionen geeignet, da sich diese (bei tragenden Außenwänden) im Bereich der lastabtragenden Gebäudeteile befinden [6]. Vor allem bei dezentralen Lüftungsgeräten ist der Vermeidung eines Zuluft-Abluft-Kurzschlusses und den Schallemissionen Beachtung zu schenken.

Abbildung 4 Dezentrale Lüftung mit fassadenintegrierten Lüftungsgeräten

3.5 Vorgehen für die Modulwahl in der Planungsphase

In Abhängigkeit der Außenwandkonstruktion werden die vorfabrizierten Fassadenmodule auf die bestehende Fassade montiert, insbesondere bei Massivbauten mit tragenden Außenwänden (z.B. Lochfassaden im Mauerwerk). Bei Skelettbauten mit nichttragenden Außenwänden (z.B. vorgehängte Elementfassaden) werden bestehenden Elementen gegen die vorfabrizierten Fassadenmodule ausgetauscht.

Abbildung 5 zeigt schematisch eine Anleitung für ein Vorgehen für die Modulwahl in der Planungsphase eines konkreten Projektes.

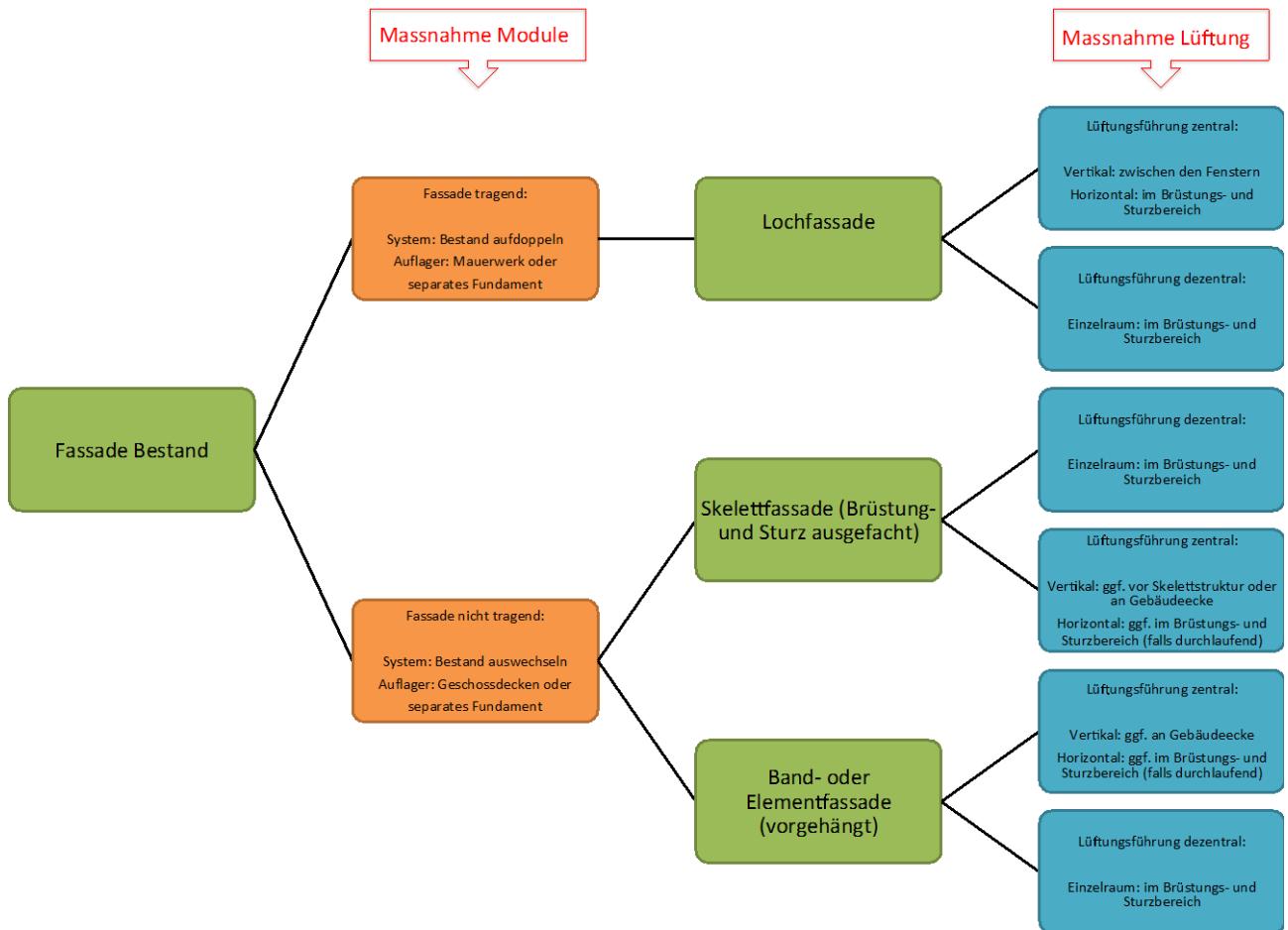


Abbildung 5 Schnittstellen Typologie und Konstruktion/ Lüftung

3.6 Schulhaus Krummbach

Das Projekt befindet sich auf der grünen Wiese, zwischen den Gemeinden Krummbach und Geuensee auf rund 700 M.ü.M.(siehe Abbildung 6). Das zweistöckige Gebäude mit insgesamt 572 m² EBF besteht aus zwei miteinander verbundenen Trakten, einem Wohn- und einem Schultrakt. Die Schule Krummbach wurde 2003 ausser Betrieb genommen. Das Gebäude wurde nicht mehr benutzt und stand mehrere Jahre leer. 2009 erwarb der Bauherr das Gebäude mit der Absicht selbst den Wohnungstrakt zu bewohnen und den Schultrakt für Erwachsenenbildung im kommunikativ, gestalterischen Bereich wie z.B. betriebliche Kommunikation oder sozio-kulturelle Ausbildungen zu nutzen. Im 2010 wurde der Architektenentwurf gestartet. Im Februar 2011 wurde dann die ausführende Firma durch den Bauherrn bestimmt. Der Bauherr wollte zu Beginn lediglich die Grenzwerte der SIA 380/1 erreichen und es war keine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung vorgesehen. Die im Frühjahr zustande gekommene Verbindung mit dem Forschungsprojekt „CCEM-Nachhaltige Wohnbauerneuerung“ führte zu Erweiterungen wie einer fassadenintegrierten Lüftung, einer leichten Verstärkung der Wärmedämmung und der Nutzung erneuerbarer Energie in Form von Photovoltaik auf dem Dach (kein KEV). Die angestrebten Standards waren MINERGIE-P, MINERGIE-ECO und MINERGIE-A und werden aller Voraussicht nach erreicht. Die vorfabrizierten Fassadenmodule wurden am 12./13. September 2011 am Bau montiert. Diese sind in der vorhergehenden Woche im Werk produziert worden. Der Gesamte Bau wurde Ende 2011 fertiggestellt.

Das Projekt eignete sich wegen der notwendigen Wirkungsbeobachtung beim Ablauf in der Praxis in Bezug auf Planung und Ausführung der vorfabrizierten Fassadenmodule mit integrierten Lüftungsleitungen. Es konnten auch erste Erkenntnisse über die Transformationen der Module für zu erneuernde Schulbauten gewonnen werden.



Abbildung 6 Ansicht des Schulhauses Krummbach zu Beginn der Erneuerung (links) kurz vor Fertigstellung (rechts)

Die Auseinandersetzung mit Lüftungsleitungen in einem vorfabrizierten Element ist so anspruchsvoll und bestimmt, dass sie den Status eines "kritischen Weges" annimmt (genauere Erklärungen dazu siehe [2] 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 können so mit je zwei Rohren von 80 mm Durchmesser ohne Probleme jeden Klassenraum mit genügend Frischluft versorgen. Die Positionierung der Lüftungsgeräte und die Führung der Lüftungsrohre sind in Abbildung 7 dargestellt.

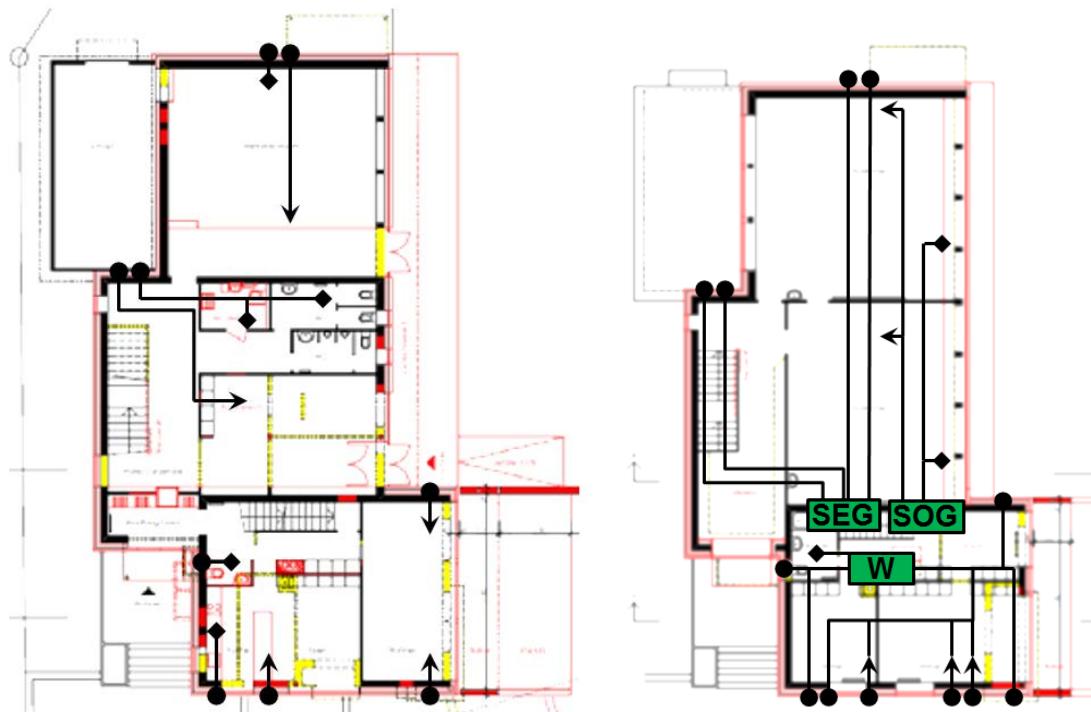


Abbildung 7 Grundrisse des Schulhauses Krummbach Erdgeschoss (links) und Obergeschoss (rechts)
Legende: SEG: Lüftungsgerät Schultrakt Erdgeschoss / SOG: Lüftungsgerät Schultrakt Obergeschoss
/ W: Lüftungsgerät Wohntrakt / →: Zuluft / →: Abluft / ●: vertikales Lüftungsrohr in der Fassade

Bei den Fassadenmodulen gab die Planung mit den Vorgaben 140X140mm Aussendurchmesser durch die Flumroc-Halbschalen klare Masse für Durchdringungen. Bei kleineren Schulbauten sind auch etwas grössere Halbschalen mit grösseren Rohren noch denkbar. Diese Halbschalen besitzen Nuten zur passgenauen Positionierung und Fixierung der Lüftungsrohre. Im Werk werden Löcher an genau definierter Stelle mit genauen Massen gefertigt. So sind die Halbschallen

einführbar und bei genauer Masseinhalzung entsteht auch genügend Druck von der Halbschale auf das Metalllüftungsrohr, so dass ein Rausfallen während der Montage verhindert wird. In Abbildung 8 links wird noch die obere Halbschale eingelegt. Die geometrischen Vorgaben zwingen Planer und Ausführer zur gemeinsamen, masslichen Planung vor Produktionsbeginn der Fassadenmodule. Abbildung 8 rechts zeigt zwei Fassadenmodule bei der Montage. Das untere Modul ist bereits an der Fassade befestigt und verschiebbare Verbindungsstücke sind in die Lüftungsrohre eingesteckt. 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.



Abbildung 8 links: Detail eines Lüftungsrohres bei der Montage der Module im Werk
rechts: Zusammenführen zweier Module mit Lüftungsrohren bei der Montage am Gebäude

4. Ausblick

Das Prinzip der Planung bei vorfabrizierten Modulen mit integrierter Lüftung basiert auch bei Schulgebäuden auf dem „kritischen Weg der Lüftungsführung“. Die doch erheblich dickeren Luftrohre für Schulbauten (bei zentraler Lüftung) haben deutlich zur Folge, dass eine 1 zu 1 Übernahme der Fassadenmodulkonstruktion aus dem Mehrfamilienhausbereich nicht immer zur Anwendung kommen kann. Die „Zwischenlösung“ wie in Krummbach darf jedoch auch nicht unterschätzt werden, da doch viele kleinere Schulbauten dafür wieder in Frage kommen. Die Vorfabrikation der Fassadenmodule erfordert ein entsprechendes Werkwissen im lokalen Unternehmerfeld. Nicht in allen Ländern sind die notwenigen Erfahrungen und Kenntnisse im Holzbau selbstverständlich.

5. Referenzen

- [1] SchoolVentCool Projekt-Webseite: <http://www.schoolventcool.eu>
- [2] „CCEM Nachhaltige Wohnbauerneuerung, Schlussbericht der Module A3, A4, Vorfabrizierte Fassaden- und Dachmodule“, Kobler R.L., Binz A., Steinke G.; IEbau-FHNW; Muttenz 2010. <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppe-bau/advanced-retrofit-nachhaltige-wohnbauerneuerungen>
- [3] SIA382/1 2007. Lüftungs- und Klimatechnische Anlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich 2007
- [4] „Classroom ventilation must be improved for better health and learning“; Wyon D.P., Wargocki P.A., Toftum J., Clausen G.; REHVA-Journal 47-4 S.35-39; ICIEE-DTU; Copenhagen 2010
- [5] „Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes 1919-1990“; Fischer R., Schwehr P.; Hochschule Luzern, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP); Horw 2010
- [6] „Schulhauserneuerung – Typologie und Vorfabrikation, Tagungsband Ökosan 2011“; Heim T., Fischer R., Schwehr P.; AEE-INTEC – Institut für Nachhaltige Technologien; Gleisdorf 2011